Азәрбајҹан ССР
Елмләр Академијасы
Академия наук
Азербайджанской ССР

ISSN 0002—3078

# МӘ'РУЗӘЛӘР
# ДОКЛАДЫ

ҸИЛД
XLI
ТОМ

8

1985

ДАН Азерб. ССР публикует краткие сообщения об оригинальных, нигде, не печатанных ранее, результатах научных исследований, представленные академиками АН Азерб. ССР, которые тем самым берут на себя ответственность за научные достоинства представляемой статьи.

В «Докладах» не публикуются крупные статьи, механически разделенные на ряд отдельных сообщений, статьи полемического характера, без новых фактических сообщений, статьи полемического характера, без новых фактических данных, статьи с описанием промежуточных опытов, без определенных выводов и обобщений, чисто методические статьи, если предлагаемый метод не является принципиально новым, а также статьи по систематике растений и животных (за исключением описания особо интересных для науки находок).

Будучи органом срочной информации, журнал «ДАН Азерб. ССР» принимает и отбирает к печати статьи, объем которых допускает их публикацию в установленные решением Президиума АН Азерб. ССР сроки.

В связи со всеми перечисленными ограничениями отклонение статьи редакцией «Доклады АН Азерб. ССР» означает только, что она не согласуется с требованиями и возможностями этого журнала и не исключает ее публикации в других изданиях.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Доклады АН Азерб. ССР», просит авторов руководствоваться приведенными правилами и надеется, что авторы ознакомятся с ними прежде, чем пришлют статью в редакцию.

**Статьи, присланные без соблюдения этих правил, к рассмотрению не принимаются.**

1. Статьи, направляемые в редакцию, должны иметь представление члена АН СССР или академика АН Азерб. ССР, если оно требуется (см. выше).

Статьи с просьбой направить их на представление редакцией не принимаются.

2. Статья публикуется по мере поступления. Единственным поводом для внеочередной публикации является исключительная важность сообщения и соображения приоритета. Для этого необходимо специальное решение редколлегии.

3. Как правило, редакция направляет представленные статьи на рецензию.

4. «Доклады» помещают не более трех статей одного автора в год. Это правило не распространяется на членов АН СССР, академиков Академии наук Азерб. ССР.

5. Авторы должны определить раздел, в который следует поместить статью, а также дать индекс статьи по Универсальной десятичной классификации (УДК). К статье прилагается отпечатанный на машинке реферат в двух экземплярах, предназначенный для передачи в один из реферативных журналов ВИНИТИ.

6. В конце статьи нужно указать полное название учреждения, в котором выполнено исследование, фамилии всех авторов, а также полный почтовый адрес и номер телефона (служебный и домашний) каждого соавтора.

Кроме того, авторский коллектив должен указать лицо, с которым редакция будет вести переговоры и переписку.

7. Возвращение рукописи автору на доработку не означает, что статья принята к печати. После получения доработанного текста рукопись вновь рассматривается редколлегией. Доработанный текст автор должен вернуть вместе с первоначальным экземпляром статьи, а также ответом на все замечания. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.

8. В «Докладах» публикуются статьи, занимающие не более 1/4 авторского листа (6 страниц машинописи). В этот объем входят текст, таблицы, библиография (не больше 15 источников) и рисунки, число которых не должно превышать четырех, включая и обозначения «а», «б« и т. д. в том числе вклейки на мелованной бумаге. Вклейки даются только для микрофотографий большого увеличения. Штриховые рисунки (карты, схемы и т. п.) на вклейках не печатаются, а даются на кальке. Текст и графический материал представляются в двух экземплярах. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и графиках недопустимо. Рисунки должны быть выполнены четко, в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей фотографии представляются на глянцевой бумаге. Подписи к рисункам должны быть напечатаны в 2-х экземплярах через два интервала на отдельной странице. На обороте рисунков мягким карандашом указываются фамилии авторов, название статьи и номер рисунка.

*(Продолжение на третьей странице обложки)*

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫ
АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

# МӘ'РУЗӘЛӘР
# ДОКЛАДЫ

## ТОМ XLI ҸИЛД

## № 8

„ЕЛМ“ НӘШРИЈЈАТЫ—ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЭЛМ“
БАКЫ—1985 БАКУ

Адрес: г. Баку, Коммунистическая, 10. Редакция „Докладов Академии наук Азербайджанской ССР"

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ҸИЛД | № 8 | 1985

УДК. 517.927.25

МАТЕМАТИКА

Чл.-корр. АН Азерб. ССР М. Г. ГАСЫМОВ, Р. Х. АМИРОВ

# ПРЯМЫЕ И ОБРАТНЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА ВТОРОГО ПОРЯДКА С КУЛОНОВСКОЙ ОСОБЕННОСТЬЮ

Рассмотрим дифференциальный оператор $L_1 (L_2)$, порожденный дифференциальным выражением

$$e(y) = -y'' + \left[\frac{A}{x} + q(x)\right] y \tag{1}$$

и граничными условиями

$$y(0) = 0, \; y'(\pi) - h_1 y(\pi) = 0 \tag{2}$$

$$(y(0) = 0, \; y'(\pi) - h_2 y(\pi) = 0) \tag{2'}$$

в пространстве $L_2[0, \pi]$. Здесь предполагается, что вещественная функция $q(x) \in C[0, \pi]$, $A$, $h_1$ $(h_2)$—действительные числа.

В настоящей работе найдены асимптотические формулы для собственных значений, собственных функций и нормировочных чисел задачи (1)—(2), определен регуляризованный след данного оператора, а также решены обратные задачи по различным наборам спектральных данных.

Обозначим через $\varphi(x, s)$ решение уравнения

$$e[\varphi(x, s)] = s^2 \varphi(x, s),$$

удовлетворяющее условиям $\varphi(0, s) = 0$, $\varphi'(0, s) = s$.
Тогда

$$\varphi(x, s) = \sin sx + \int_0^x \frac{\sin[s(x-t)]}{s} \left[\frac{A}{t} + q(t)\right] \varphi(t, s)\, dt. \tag{3}$$

Ядро этого интегрального уравнения имеет неинтегрируемую особенность, но несмотря на это в классе функций $\frac{f(x)}{x} \in C[0, \pi]$ решается методом последовательных приближений.

Теорема 1. *При больших значениях* $s$ *для* $\varphi(x, s)$ *и* $\varphi'(x, s)$ *имеют место следующие асимптотические формулы:*

$$\varphi(x, s) = \sin sx + \frac{A\pi}{4} \cdot \frac{\sin sx}{s} - AM_2 \cdot \frac{\cos sx}{s} - \frac{A}{2} \cdot \frac{\cos sx}{s} \ln sx -$$

$$- \frac{\cos sx}{sx} \int_0^x q(t)\, dt + O\left(\frac{\ln s}{s^2}\right),$$

$$\varphi'(x, s) \quad s \cdot \cos sx + \frac{A\pi}{4} \cdot \cos sx + AM_2 \cdot \sin sx + \frac{A}{2} \cdot \sin sx \cdot \ln sx -$$

$$-\frac{\sin sx}{2}\int_0^x q(t)\,dt+\frac{\cos sx}{2}\int_0^x q(t)\sin 2st\,dt-\frac{\sin sx}{2}\times$$

$$\times\int_0^x q(t)\cdot\cos 2st\,dt-\frac{A\cdot\sin sx\cdot\sin 2sx}{s}+O\left(\frac{\ln s}{s^2}\right),$$

*где* $M_2=\int_0^1\frac{\sin^2 t}{t}\,dt.$

Теорема 2. *При больших значениях n для собственных значений* $s_n$, *собственных функций* $\varphi_n(x)=\varphi(x,s_n)$ *и нормировочных чисел* $\alpha_n$ *оператора* $L_n$ *имеют место следующие асимптотические формулы:*

$$s_n=n+\frac{1}{2}+\frac{A}{2\pi}\cdot\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{n+\frac{1}{2}}+\frac{c_0}{n+\frac{1}{2}}+O\left(\frac{\ln n}{n^2}\right);$$

$$\varphi_n(x)=\sin\left(n+\frac{1}{2}\right)x+\frac{A}{2\pi}\cdot\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{n+\frac{1}{2}}\cdot x\cdot\cos\left(n+\frac{1}{2}\right)x+$$

$$+\frac{A\pi}{4}\cdot\frac{\sin\left(n+\frac{1}{2}\right)x}{n+\frac{1}{2}}-\frac{\cos\left(n+\frac{1}{2}\right)x}{n+\frac{1}{2}}\cdot\beta(x)-$$

$$-\frac{A}{2}\cdot\frac{\cos\left(n+\frac{1}{2}\right)x}{n+\frac{1}{2}}\cdot\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)x+O\left(\frac{\ln n}{n^2}\right),$$

$$\alpha_n=\frac{\pi}{2}+\frac{A\pi^2}{4}\cdot\frac{1}{n+\frac{1}{2}}+\frac{A^2\pi}{16}\cdot\frac{\ln^2\left(n+\frac{1}{2}\right)}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+O\left(\frac{\ln n}{n^2}\right),$$

*где*

$$c_0=\frac{1}{\pi}\left(A\cdot M_2-h_1+\frac{A\cdot\ln\pi}{2}+\frac{1}{2}\int_0^\pi q(t)\,dt\right);$$

$$\beta(x)=A\cdot M_2+\frac{1}{2}\int_0^x q(t)\,dt$$

Замечание. Если $q(x)\in C^1[0,\pi]$, то можно доказать более точную асимптотическую формулу для собственных значений оператора $L_1$. А именно, имеет место формула:



$$s_n=n+\frac{1}{2}+\frac{A}{2\pi}\cdot\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{n+\frac{1}{2}}+\frac{c_0}{n+\frac{1}{2}}+c_1\cdot\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+$$

$$+\frac{c_2}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+c_3\cdot\frac{\ln^2\left(n+\frac{1}{2}\right)}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^3}+c_4\cdot\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^3}+\frac{C_5}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^3}+O\left(\frac{\ln n}{n^4}\right).$$

где $c_1$, $c_2$, $c_3$, $c_4$, $c_5$ — некоторые постоянные числа.

А теперь предположим, что $q(x)\in C^1[0,\pi]$. Обозначим через $\gamma_n$ собственные значения уравнения

$$-y''+\left(\frac{A}{x}-\gamma\right)y=0$$

при граничных условиях (2).

Верна следующая теорема.

Теорема 3. *Если* $\int_0^\pi q(t)\,dt=0$, *то имеет место формула*

$$\sum_{n=1}^{\infty}(\lambda_n-\gamma_n)=\frac{q(\pi)-q(0)}{4}$$

В дальнейшем, при условии $q(x)\in C^1[0,\pi]$ формулируется две теоремы, дающие решение обратной задаче по различным наборам спектральных данных.

Теорема 4. *Если все* $\alpha_n>0$ *и*

$$\sqrt{\lambda_n}=n+\frac{1}{2}+\frac{A}{2\pi}\cdot\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{n+\frac{1}{2}}+\frac{c_0}{n+\frac{1}{2}}+c_1\cdot\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+$$

$$\frac{c_2}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+O\left(\frac{\ln^2 n}{n^3}\right)\tag{3}$$

$$\alpha_n=\frac{\pi}{2}+\frac{A\pi^2}{4}\cdot\frac{1}{n+\frac{1}{2}}+\frac{A^2\pi}{16}\cdot\frac{\ln^2\left(n+\frac{1}{2}\right)}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+\frac{A}{4}\cdot\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+$$

$$+\frac{\gamma}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+O\left(\frac{\ln^2 n}{n^3}\right),\tag{4}$$

*где* $c_0$, $c_1$, $c_2$, $\gamma$*-постоянные числа, то существует оператор* $L_1$ *с данными* $\{\lambda_n\}$ *и* $\{\alpha_n\}$, $q(x)\in C^1[0,\pi]$

Теорема 5. *Пусть заданы две последовательности чисел* $\{\lambda\}$

*и $\{\mu_n\}$ $(n=0, 1, 2, \dots)$, для которых выполняются следующие условия:*

1) *числа $\lambda_n$ и $\mu_n$ перемежаются;*
2) *для $\lambda_n$ и $\mu_n$ выполняются асимптотические формулы:*

$$\lambda_n=\left(n+\frac{1}{2}\right)^2+\frac{A}{\pi}\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)+2c_0+2c_1\cdot\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{n+\frac{1}{2}}+$$

$$+\frac{2c_2}{n+\frac{1}{2}}+\left(2c_3+\frac{A^2}{4\pi^2}\right)\cdot\frac{\ln^2\left(n+\frac{1}{2}\right)}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+\left(\frac{Ac_0}{\pi}+2c_4\right)\times$$

$$+\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+\frac{c_0^2+2c_5}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+O\left(\frac{\ln^2 n}{n^3}\right)$$

$$\mu_n=\left(n+\frac{1}{2}\right)^2+\frac{A}{\pi}\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)+2c_0'+2c_1'\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{n+\frac{1}{2}}+$$

$$+\frac{2c_2'}{n+\frac{1}{2}}\left(2c_3'+\frac{A^2}{4\pi^2}\right)\cdot\frac{\ln^2\left(n+\frac{1}{2}\right)}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+\left(\frac{Ac_0'}{\pi}+2c_4'\right)\cdot\frac{\ln\left(n+\frac{1}{2}\right)}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}\times$$

$$\frac{c_0'^2+2c_5'}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2}+O\left(\frac{\ln^2 n}{n^3}\right),$$

*причем $c_0\neq c_0'$.*

*Тогда существуют непрерывная функция $q(x)$ и числа $h_1$, $h_2$, такие, что $\{\lambda_n\}$—спектр задачи (1)—(2), а $\{\mu_n\}$—спектр задачи (1)—(2). При этом*

$$h_1-h_2=\pi(c_0'-c_0)$$

Наметим пути доказательства. Для доказательства теоремы 4 достаточно доказать, что функция

$$F(x,t)=\sum_{n=0}^{\infty}\left\{\frac{\varphi_0(x,\sqrt{\lambda_n})\varphi_0(t,\sqrt{\lambda_n})}{\alpha_n}-\frac{\varphi_0(x,\sqrt{\lambda_n^0})\varphi_0(t\sqrt{\lambda_n^0})}{\alpha_n^0}\right\}$$

имеет первые непрерывные производные при $0\leqslant x\leqslant\pi$ и $0\leqslant t\leqslant\pi$. Здесь $\varphi_0$, $\lambda_n^0$ и $\alpha_n^0$ являются соответственно собственными функциями собственными значениями и нормировочными числами задачи (1)—(2) в случае $q(x)\equiv 0$. Если асимптотические формулы (3)—(4) подставить



в выражение для $F(x, t)$, то полученные ряды можно почленно дифференцировать. Дальнейшие рассуждения близки к рассуждениям из [1].

Для доказательства теоремы 5 положим:

$$\Phi_1(\lambda)=c_1\cdot\prod_{k=0}^{\infty}\left(1-\frac{\lambda}{\lambda_k}\right),\quad \Phi_2(\lambda)=c_2\cdot\prod_{k=0}^{\infty}\left(1-\frac{\lambda}{\lambda_k}\right),$$

где $c_1$, $c_2$—некоторые постоянные числа.

Задача построения уравнения (1) сводится к вычислению чисел $\alpha_n$ по двум спектрам уравнения (1). Можно показать, что

$$\alpha_n=-(h_2-h_1)\cdot\frac{\Phi_1'(\lambda_n)}{\Phi_2(\lambda_n)}=\frac{h_2-h_1}{\mu_n-\lambda_n}\cdot\prod_{k=0}^{\infty}\frac{\lambda_k-\lambda_n}{\mu_k-\lambda_n}$$

Доказательство основано на изучении асимптотического поведения правой части последнего равенства при больших $n$.

### Литература

1. *Левитан Б. М., Гасымов М. Г.*,—УМН, т. 19, 1964, вып. 2, 116. 2. *Левитан Б. М., Саргсян И. С.* Введение в спектральную теорию.—М.: Наука, 1970. 3. *Гельфанд И. М., Левитан Б. М.*—Докл. АН СССР, т. 88, № 4, 1953.

*АГУ им. С. М. Кирова*

*Поступило 17. VII 1984*

**М. К. Гасымов, Р. Х. Әмиров**

## КУЛОН МӘХСУСИЈЈӘТЛИ ИКИТӘРТИБЛИ ДИФЕРЕНСИАЛ ОПЕРАТОР ҮЧҮН ДҮЗ ВӘ ТӘРС СПЕКТРАЛ МӘСӘЛӘ

Мәгаләдә верилмиш операторун, мәхсуси функсијаларын, мәхсуси әдәдләрин, нормалашдырычы әдәдләрин асимптотикасы верилир вә һәмчинин мүхтәлиф спектрал верпләнләрә көрә тәрс мәсәлә һәлл олунур.

**M. G. Gasimov, R. Kh. Amirov**

## DIRECT AND INVERSE SPECTRAL PROBLEMS FOR THE DIFFERENTIAL OPERATOR OF THE SECOND ORDER WITH COULOMB SINGULARITY

In the article asymptotics of the eigenfunction, eigenvalue, normalized numbers of the given operator is suggested, and inverse problems are solved according to different collections of spectral data.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 519.95

КИБЕРНЕТИКА

О. К. ХАНМАМЕДОВ

# АППРОКСИМИРУЮЩИЙ ПЕРСЕПТРОН И СХОДИМОСТЬ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ОДНОГО КЛАССИФИКАТОРА

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР А. А. Эфендизаде)*

Рассматривается классификатор [1], выполняющий отображение $f: S \to X_\kappa$, где $S$—множество объектов классификации $s = \langle a, b, \ldots, n \rangle$ размерности $|P|$; $P = \{a, b, c, \ldots, n\}$—множество элементарных предикатов; $X_\kappa$—множество признаков классификации класса $\kappa$, $X_\kappa \subset X$; $\kappa = 1, 2, \ldots, m$; $X$—булева алгебра $\langle P, \vee, \wedge, \neg \rangle$.

Рассматривается также персептрон с $m$ пороговыми функциями

$$g_\kappa(P) = \sum_{\varphi \in F} \beta_{\kappa,\varphi}\varphi(P(\varphi)) = B_\kappa \Phi. \tag{1}$$

в которых $F$—множество предикатов двух переменных, $\Phi \in P = F \times (P \times P)$, $B \in E$, где $E$—евклидово пространство, причем $|E| = |P| = N$, $P(\varphi)$—носитель предиката $\varphi$. Теорема о сходимости персептрона [2] гласит, что векторы $B_\kappa = (\beta^1_{\kappa,\varphi}, \beta^2_{\kappa,\varphi}, \ldots, \beta^N_{\kappa,\varphi})$ сходятся к оптимальным значениям с помощью рекуррентной поисковой процедуры: „если $B_\kappa \Phi < B_j \Phi + \theta$, $\theta > 0$; $j \neq \kappa$, то $B_\kappa = B_\kappa + \kappa\Phi$, $B_j = B_j - \kappa\Phi$, а в противном случае $B_\kappa$, $B_j$ остаются без изменений".

Классификатору поставим в соответствие функции вида

$$d_\kappa(P) = \sum_{P,F} \beta_{\kappa,\varphi} \cdot \varphi(P), \tag{2}$$

которые, в отличие от $g_\kappa(P)$, определены на всем пространстве $P$, $E$. что следует понимать как вложение $g_\kappa(P) \subset d_\kappa(P)$.

Определение 1. Персептрон с пороговыми функциями [2] аппроксимирует классификатор, выполняющий отображение $f$, если процедура обучения персептрона [2] сходится.

Так как „итерация" процесса обучения классификатора выполняется путем параллельной обработки обучающих массивов $S_\kappa \subset S$ объектов $s$, то в (2) коэффициенты $\beta_{\kappa,\varphi}$ определяются по формуле

$$\beta_{\kappa,\varphi} = \left(1 - \frac{1}{m} - \overset{\wedge}{\omega}_{\kappa,\varphi}\right)\overset{\vee}{\omega}_{\kappa,\varphi}, \tag{3}$$

где $\overset{\wedge}{\omega}_{\kappa,\varphi}$—коэффициент межклассового веса объекта $s$; $\overset{\vee}{\omega}_{\kappa,\varphi}$—коэффициент межстрочного веса; $\beta_{\kappa,\varphi}$, $\overset{\vee}{\omega}_{\kappa,\varphi}$, $\overset{\wedge}{\omega}_{\kappa,\varphi} \in [0,1]$.

Обучающее множество $S$ формируется систематически. Всякий раз, после $n$-го формирования обучающего множества, классификатор добучается, выполняя преобразование $f$. Коэффициенты функции $d_\kappa(P)$ вычисляются по формуле



$$\beta_{\kappa,\varphi}[n] = \left(1 - \frac{1}{m} - \overset{\wedge\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[n]\right)\overset{\vee\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[n], \quad n = 0, 1, 2, \ldots,$$

в которой $\overset{\wedge\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}$ $\overset{\vee\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}$ корректируются с помощью скользящих средних

$$\overset{\wedge\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[n+1] = \frac{1}{2}\left(\overset{\wedge\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[n] + \overset{\wedge}{\omega}_{\kappa,\varphi}(n+1)\right),$$

$$\overset{\vee\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[n+1] = \frac{1}{2}\left[\overset{\vee\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[n] + \overset{\vee}{\omega}_{\kappa,\varphi}[n+1]\right),$$

$$\overset{\vee\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[0] = \frac{1}{m}; \quad \overset{\vee\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[0] = 1.$$

С уменьшением значимости предиката $\varphi(P)$ как признака классификации на $(n+1)$-м шаге обучения классификатора

$$\Delta\beta_{\kappa,\varphi}[n+1] = \beta_{\kappa,\varphi}[n+1] - \beta_{\kappa,\varphi}[n] < 0, \tag{4}$$

и, наоборот, с увеличением значимости предиката $\varphi(P)$

$$\Delta\beta_{\kappa,\varphi} > 0. \tag{5}$$

Можно установить, что в случае (4) справедливы соотношения

$$\overset{\vee\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[n+1] < \overset{\vee\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[n], \quad \overset{\wedge\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[n+1] > \overset{\wedge\bullet}{\omega}_{\kappa,\varphi}[n],$$

а в случае (5) неравенства в этих выражениях противоположные. Критерием окончания процесса обучения классификатора является условие

$$|\Delta\beta_{\kappa,\varphi}[n]| \leqslant \varepsilon, \ \varepsilon > 0, \tag{6}$$

с выполнением которого формулируется функция

$$d_\kappa[n] = \sum_{P,F} \beta_{\kappa,\varphi}[n] \cdot \varphi(P) > 0, \tag{7}$$

в которой $\beta_{\kappa,\varphi}[n] > 0$. Итогом обучения классификатора являются выражения, получаемые из (7) путем исключения из рассмотрения тех слагаемых, в которых $\beta_{\kappa,\varphi}[n]$ меньше порога $\beta^\bullet[n]$. Эти выражения обозначим символом $d^\bullet_\kappa[n]$.

Для сопоставления процессов обучения перепстрона (1) и классификатора [1], аппроксимируемого персептроном (7), будем рассматривать случай с ограничениями

$$1 \geqslant \beta_{\kappa,\varphi} \geqslant 0, \tag{8}$$

что не препятствует сходимости процесса обучения персептронае [2] с функциями (1).

Определение 2. Функция $d_\kappa[r]$ имеет своим пределом функцию $d_\kappa[n]$ $(n > r)$, если на $n$-м этапе обучения классификатора для приращений $\Delta\beta_{\kappa,\varphi}[n]$ коэффициентов $\beta_{\kappa,\varphi}$ функций $d_\kappa[n]$ выполнились соотношения (6).

Определение 3. Функция $d_\kappa[r]$ сходится к функции $d^\bullet_\kappa[n]$, если найдется такое число $\beta^\bullet_\kappa$, что в предельной функции $d_\kappa[n]$ $(n > r)$ и функции $d^\bullet_\kappa[n]$ одноименные коэффициенты $\beta_{\kappa,\varphi}$ удовлетворяют соотношению $\beta_{\kappa,\varphi} > \beta^\bullet_\kappa$.

Пусть функции $g^{\bullet}_{к}(P)$, $d_{к}[n]$—результаты обучения персептронов (1), (2) на одном и том же обучающем множестве.

Лемма 1.

$$g^{\bullet}_{к}(P) \subset d_{к}[n].$$

Это следует из процедуры обучения персептрона (1) с ограничениями (8) и формулы для вычисления $\beta_{к,\varphi}[n]$.

Теорема 1. *Пусть $g^{\bullet}_{к}(P)$ пороговая функция, полученная после обучения персептрона на множестве объектов $S_{к}$ при ограничениях (8); пусть $d_{к}[n]$—функция, построенная обучением классификатора на том же множестве $S_{к}$. Тогда найдется такое пороговое значение $\beta^{\bullet}_{к}[n] > 0$, что если в $d_{к}[n]$ приравнять нулю коэффициенты $\beta_{к,\varphi}$, удовлетворяющие соотношению $\beta_{к,\varphi} < \beta^{\bullet}_{к}[n]$, то оставшиеся коэффициенты, удовлетворяющие соотношению $\beta_{к,\varphi} \geqslant \beta^{\bullet}_{к}[n]$ образуют функцию $d^{\bullet}_{к}[n]$*, такую, что $d^{\bullet}_{к}[n]$, $g^{\bullet}_{к}(P) \subset P_{к} \subset P$.

Следствие. Для функций $g^{\bullet}_{к}(P)$, $d^{\bullet}_{к}[n]$ справедлива одна и только лишь одна д. н. ф.

$$D_{к} = \wedge \varphi(P) = \vee x_{i} = 1, \; x_{i} \in X_{к}.$$

Теорема 2. *Если в результате обучения классификатора* [1] *на множестве объектов $S_{к}$ функция $d_{к}[r]$, определенная на пространстве $P$ сходится к функции $d^{\bullet}_{к}[n]$ $(n > r)$ с коэффициентами $\beta_{к,\varphi} > \beta^{\bullet}_{к} > 0$, то всякая функция $d_{к,0}[r] \subset d_{к}[n]$, определенная на подпространстве $P_{к,0} \subset P$, также сходится к некоторой разделяющей функции $d^{\bullet}_{к,0}[n] \subset d^{\bullet}_{к}[n]$, $d^{\bullet}_{к,0}[n] \subset P_{к,0}$ такой, что на $P_{к,0}$ у функций $d^{\bullet}_{к}[n]$, $d^{\bullet}_{к,0}[n]$ все отличные от нуля одноименные коэффициенты $\beta_{к,\varphi}$ равны между собой.*

В соответствии с методом классификации [1], помня, что $S_{t+1} = U_{к}(S_{t})$, рассмотрим пространство $\check{S}$ расширенных кортежей

$$s_{t} = \ll s_{t} >, \; < U_{к}(s_{t}) \gg,$$

расширенное множество $\check{P} = \{\{P\}, \{P^{\bullet}\}\}$ предикатов $\{a, b, \ldots, a^{\bullet}, b^{\bullet}, c^{\bullet}, \ldots,\}$ размерности $2\,|P|$ и расширенное пространство логических функций $\varphi(a, b)$. Тогда $|\check{P}| = 4\,N$.

Пусть $\check{E}$—расширенное евклидово пространство размерности $4N$. Пусть $\check{d}_{к}[n]$—функция со структурой (7) и определенная на $\check{E}$, а $\check{S}_{к}[r]$, $r = 1, 2, \ldots, n$ последовательность обучающих множеств, предъявляемых классификатору и образующих множество $\check{S}_{к} = U_{к}$ $S_{к}[r]$. Очевидно, что сформулированные утверждения справедливы и для расширенной системы функций $\check{g}^{\bullet}_{к}(P)$, $\check{d}_{к}[n]$, определенных и $\check{E}$, $\check{P}$.

Следствие 1. Если функция $\check{d}_{к}[r]$, определенная на $\check{P}$, сходит-



ся к функции $\check{d}^{\bullet}_{к}[n]$, то функция $d_{к}[r]$, определенная на $P$ сходится к функции $p^{\bullet}_{к}[n]$, причем $d_{к}[n]$ вложена в функцию $\check{d}^{\bullet}_{n}[n]$.

Пусть подпространство $\overline{P} \subset P$ имеет своими составляющими функции $\varphi \in \tilde{F}$ от двух аргументов. Причем, в качестве первого аргумента—элемент множества $P$, а в качестве второго—элемент множества $P^{\bullet}$. Таким образом $|\overline{P}| = N$. Пусть $\overline{P}$ поставлено в соответствие подпространство $\overline{E} \subset \check{E}$, такое, что произведение элементов $B \in \overline{E}$, $\Phi \in \overline{P}$ образует функцию

$$\overline{d}_{к}[r] = B[r]\,\Phi[r].$$

Следствие 2. Если функция $\check{d}_{к}[r]$ сходится к функции $\check{d}_{к}[n]$, то функция $\overline{d}_{к}[r]$ сходится к функции $\overline{d}^{\bullet}_{к}[n]$, причем $\overline{d}^{\bullet}_{к}[n[$ вложена в функцию $\check{d}^{\bullet}_{к}[n]$.

Таким образом, процесс обучения классификатора [1] сходится на конечном числе этапов дообучения. Это означает, что управления системы управления роботом, синтезируемые на основе метода, изложенного в [1] и представляющие собой матрицы отношений, принимают свое предельное значение за конечное число этапов дообучения. Следовательно, в технических приложениях, реализующих микропроцессорную систему управления роботом, окончательное формирование структуры системы управления заканчивается за конечное время. Это создает определенные предпосылки для синтеза обучающихся систем управления роботами в реальном масштабе времени в классе однородных вычислительных структур.

**Литература**

1. *Ханмамедов О. К.* сб. Всесоюзная конференция: Семиотические модели при управлении большими системами.—М.: АН СССР, 1979, 53—55. 2. *Минский М., Пейперт С.* Персептроны-М.: Мир. 1971.

*Институт кибернетики АН АзССР* *Поступило 31. X. 1981*

**О. Г. Ханмәммәдов**

## АПРОКСИМАСИЈАЕДИЧИ ПЕРСЕПТРОН ВӘ БИР КЛАССИФИКАТОРУН ӨЈРӘНМӘ ПРОСЕСИНИН ЈЫҒЫЛМАСЫ

Мәгаләдә бинар мүнасибәтләр доғуран классификатор вә классик персептрон өјрәнилир. Классификаторун апроксимасијаедичи персептрон анлајышы дахил едилир вә онун әмсалларынын һесабланмасы үчүн аналитик ифадә верилир. Көстәрилир ки, классик персептрону тәсфир едән функсијасы апроксимасијаедичи персептрону тәсфир едән функсијасына јығылыр; ресептор фәзасынын истәнилән алт фәзасында тә'јин олунмуш апроксимасијаедичи персептрону тәсфир едән функсијасы бүтүн ресептор фәзасынын функсијасынын бу алт фәзаја даралмасыдыр.

**O. K. Khanmamedov**

## APPROXIMATING PERSEPTRON AND TRAINING PROCESS CONVERGENCE OF A CLASSIFIER

The article studies a classical perseptron and a classifier, generated by binary relations. A notion of a perseptron, which approximates a classifier, and analytical expressions calculating the coefficients in the approximating perseptron, are introduced. It is established that the threshold function of the classical perseptron converges to the threshold function of the approximating perseptron. The limiting threshold function of the approximating perseptron, defined at any subspace of receptors, space, is nested into the limiting threshold function of the whole receptors' space.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 62—505:519.83

КИБЕРНЕТИКА

М. Д. МАМЕДОВ

# ЭКВИВАЛЕНТНОСЬ СМЕНЫ КРИТЕРИЕВ И ИЗМЕНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ч. М. Джуварлы)*

Отдельное производство необходимо рассматривать как элемент системы, снабженный собственным локальным критерием эффективности. Математически это означает, что в таком элементе системы ставится и решается оптимизационная (локальная) задача, в результате анализа которой полученное оптимальное управление трактуется как „поведение" элемента. Совокупность таких элементов, взаимодействующих между собой, образуют систему. Отличительным свойством системы, определяющим ее функционирование как целого, является структура, строение. В данной работе мы ограничиваемся правилами взаимодействия элементов системы, а точнее только возможностью согласования их поведения на основе согласования решений оптимизационных задач. В то же время, так как здесь допускается произвольное соподчинение элементов, полученные результаты носят достаточно общий характер и могут быть использованы в системах различной структуры с одной отличительной особенностью: элементы и вся система должна обладать целенаправленным поведением [1].

Человеко-машинные, сложноорганизованные системы, как показывает само их наименование, отличаются тем, что в качестве их элементов выступают люди, которые и придают им свойство целенаправленности. Сейчас и, тем более в будущем, к таким системам все в большей степени относятся системы, составленные из „интеллектуальных" роботов, и, в частности, роботизированные на их основе производства. В системах, составленных из роботов или роботизированных производств, главным представляется именно вопрос согласования их поведения, который из разряда моральных и социальных проблем при наличии в системе человека попадает в проблему согласования решений оптимизационных задач.

Смысл развиваемых здесь представлений о способах согласования сводится к постулируемой эквивалентности ограничительного и критериального управлений. С этой точки зрения плата $\pi_\gamma$ которая составляет относительную разность критериев эффективности (см. ниже (4)), за изменение граничных условий и есть количественная его характеристика. Для характеристики критериального управления введем $\pi_J$ «плату за назначение» критерия $J$, которую определим в виде

$$\pi_J = (L_m - L(\overset{\bullet}{u}_{opt}))/L_m, \tag{1}$$

в котором управление записывается так

$$\overset{\bullet}{u}_{opt} = \underset{u \in D_u}{\arg\operatorname{extr}} J \tag{2}$$



В (1) и (2) обозначения совпадают с использованными ранее. Процедура определения $\overset{\bullet}{u}_{opt}$ в (2), записанная в таком виде, говорит о том, что $\overset{\bullet}{u}_{ont}$—оптимальное управление, доставляющее экстремум (максимум или минимум) новому критерию эффективности $J$. С учетом таких пояснений, можно сделать и общую для (1) и (2) запись, которую и будем использовать далее

$$\pi_J = \frac{1}{L_m}\,[L_m - L(\underset{u \in D_u}{\arg\operatorname{extr}} J(u))]. \tag{3}$$

Необычность введенного здесь представления только кажущаяся. Пусть решена одна из динамических (вообще говоря, это совсем не обязательно) задач. В соответствии со смыслом оптимизационной проблемы после такого решения известно не только экстремальное значение критерия эффективности (в данном случае $J$), но и оптимальное управление — $U_{opt}$. После фиксации любого допустимого управления можно вычислить все интересующие нас функции — от изменения фазовых переменных и в том числе любые функционалы. Отсюда следует, что если известно допустимое значение управления $U_{opt}$ (а его допустимость следует из определения оптимальности), то можно определить любой функционал, в том числе L, интересующий нас в данном случае, что и записано в начале как $L(U_{opt})$ а затем сюда подставлено значение $U_{opt}$ из (2). Сформулируем теорему о неотрицательности платы (3).

Теорема 1. *Пусть сформулирована и решена оптимизационная задача о максимизации величины L, тогда при произвольной смене критерия эффективности, но при выполнении всех прежних ограничений, плата $\pi_J$ неотрицательна.*

Вопрос о смене критерия эффективности и равнозначное по влиянию на исходный функционал изменение ограничения есть вопрос о сопоставлении $\pi_\gamma$ и $\pi_J$ здесь он является центральным, так как такое сопоставление соответствует количественному сравнению силы ограничительного и критериального управления. Будем называть критериальное и ограничительное управление эквивалентными, если для каждого значения $\pi_J$ найдется равное ему значение $\pi_\gamma$. Формулирование утверждения об эквивалентности критериального и ограничительного управления может быть дано в виде новой теоремы.

Теорема 2. *Пусть сформулирована и решена оптимизационная задача о максимизации величины L. Тогда изменению этого функционала, полученному за счет смены критерия эффективности (например, переходу к $J \Rightarrow extr$) может быть сопоставлено равнозначное изменение, полученное за счет смены граничных условий* (например $\pi\gamma = fixe$).

Доказательство этой теоремы можно построить в виде следующих рассуждений. Пусть в оптмизационной задаче из краевых условий $X_j'(T)$ ужесточается (т. е. меняется так, что значение максимума функционала уменьшается), например $[\overset{\bullet}{X}_{j1}, \overset{\bullet\bullet}{X}_{j1}] \to \gamma_T$, т. е. стягивается в точку. В соответствии с этой сменой граничного условия может быть вычислена плата

$$\pi_\gamma = (L_\Gamma - L_{\gamma T})/L_{\gamma T} \tag{4}$$

Положим теперь, что функционал задачи представлен в виде $J = L_\bullet - \lambda(X_{j'}(T) - X_j(T))^2$ и зничение $X_j'(T)$ не задано, а $\lambda$—„штраф" [2] за выполнение ужесточенного граничного условия. Если решение в этой задаче получено и величина $J$ совпадает с величиной $L_{\gamma T}$ (при достаточно большом штрафе $\lambda$ величины $\lambda(X_{J'}(T) - X_{J'}(T))^2 \ll L_\Gamma$), то определена величина („плата" за изменение критерия)

$$\pi L_{\bullet} = \frac{1}{L_{\bullet}}(L_\Gamma - L_\bullet) = \frac{1}{L_{\gamma T}}(L_\Gamma - L(\operatorname{argextr}(J))) =$$

$$= \frac{1}{L_J}(L_\Gamma - J) = \Delta\pi_J, \qquad (5)$$

но так как $J$ и $L_{\gamma\Gamma}$ совпадают по предположению, то $\pi_{\gamma T}$ и $\pi_J$ равны между собой.

Представленное рассуждение не может быть принято за строгое доказательство, во-первых, потому, что задача «со штрафом» вообще говоря, не совпадает с исходной и, во-вторых, точность сходимости должна задаваться вначале, до решения, что также (при несходимости процесса вычисления) может свидетельствовать об отступлении от исходных условий. Одновременно, если задача со штрафными функциями из (5) дает решение с любой наперед заданной точностью, то приведенное доказательство справедливо и строго.

В случае эквивалентности ограничительного и критериального управлений можно выдвинуть некоторый критерий согласования взаимодействия элементов (например, участков производства, включающих людей). Надо заметить, что при сопоставлении ограничительного и критериального управлений вопрос о подчиненности элементов остается открытым, т. е. подчиненность должна определяться отдельно и заранее, а отсюда следует, что такой критерий согласования не может содержать этой информации. В то же время поскольку все способы влияния одного элемента на другой могут быть проинтерпретированы как ограничительное или критериальное управление (т. е. никаких других не существует), то и изменение критерия согласования может быть использовано для количественной характеристики всех таких способов.

Способ организации критерия согласования включает комбинацию правил задания граничных условий, правил смены критериев, дающих совпадающие решения и эквивалентности критериального и ограничительного управлений. Первое говорит о том, что граничные условия, плата за изменение которых равна нулю, не могут использоваться при ограничительном управлении; второе — свидетельствует о том, что плата за изменение граничных условий может быть определена для данного критерия эффективности и зачем пересчитана для каждого из тех, которые дают совпадающие решения. Наконец, на основе третьего может быть совершен переход от задания любого критерия эффективности к изменению любого из ограничений области решений.

### Литература


1. *Емельянов С. В., Буркоз В. Н.* Управление активными системами. Сб. Активные системы.—М.: ИАТ, 1973, 2. *Моисеев Н. Н.* Элементы теории оптимальных систем.—М.: Наука, 1975, с. 166.



*Азербайджанский институт народного хозяйства им. Д. Буниятзаде*



*Поступило 14. II, 1985*





М. Ч. Мәммәдов


## ДИНАМИК ОПТИМАЛ МӘСӘЛӘЛӘРДӘ КРИТЕРИЈАЛАРЫН ӘВӘЗ ОЛУНМАСЫНЫН ВӘ МӘҺДУДИЈЈӘТЛӘРИН ДӘЈИШМӘСИНИН ЕКВИВАЛЕНТЛИЈИ


Мәгаләдә динамик оптимал мәсәлә нәзәрдән кечирилир вә бу мәсәлә үчүн критеријаларын әвәз олунмасы вә мәһдудијјәтләрин дәјишмәсинин еквивалентлији өјрәнилир. Бүтөвлүкдә системин сәмәрәлилик критеријасындан фәргли олараг, елементин сәмәрәлилик критеријасы вә һәмин елементин давранышыны мүәјјәнләшдирмәјә имкан верән локал оптимал мәсәлә һәлл олунур. Бу информасијаја әсасән һәмин елемент үчүн башга критерија вә мәһдудијјәтләри олан оптимал мәсәләнин һәлли алыныр. Критеријанын әвәз олунмасы вә мәһдудијјәтләрин дәјишмәси үчүн «музд» анлајышы дахил едилир вә онун мәнфи олмамасы һаггында теорем исбат олунур. Бундан әлавә критериал вә мәһдудијјәт идарә етмәләринин еквивалентлији һаггында теорем исбат олунур.



M. D. Mamedov


## EQUIVALENCE IN CRITERIA REPLACEMENTS AND RESTRICTIONS VARIATIONS OF DYNAMIC OPTIMIZATION PROBLEMS


The article deals with a system element having its own effectiveness criterion differing from that of the system as a whole. The solution of a local optimization problem provides an optimum control allowing one to judge of the element behaviour. On the basis of available information on the solution of an optimization problem with certain effectiveness criteria and restrictions, it is suggested to obtain the solution of an optimization problem for the same element but with other effectiveness criteria or other restrictions. The concept of „payment" for the replacement of criteria and for the variation of restrictions is introduced. A theorem of the non-negative nature of „payment" and a theorem of the equivalence of criteria-based and restriction-based controls are formulated and proved for the first time.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 539.3

МЕХАНИКА

Г. Г. КУЛИЕВ

# К ТЕОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ СЖИМАЕМЫХ ТЕЛ ПРИ РАВНОМЕРНОМ БОКОВОМ ДАВЛЕНИИ

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ф. Г. Максудовым)*

Исследуется устойчивость положения упругого равновесия односвязных изотропных сжимаемых тел, которые помещены без трения между абсолютно жесткими стенками, когда расстояние между стенками не изменяется и на одной из боковых поверхностей приложено равномерное давление в виде „мертвой; а на другой—„следящей“ нагрузок; В этом случае докритическое состояние не соответствует всестороннему сжатию (в случае несжимаемых тел реализуется всестороннее сжатие [1]).

Исследования выполняются в общей форме для всех вариантов теорий конечных (больших) и малых докритических упругих деформаций. Случаи, когда на боковых поверхностях тела заданы или „мертвые“, или „следящие“ нагрузки, изучены ранее [1—3].

В рассматриваемом здесь виде нагружения не удается провести исследования усточивости сжимаемых тел, независимо от их геометрических форм.

Рассмотрим задачу об устойчивости полосы ($0<x_1<l$; $-h\leqslant x_2\leqslant h$), которая при $x_1=0$; $l$ соприкасается без трения с абсолютно жесткими стенками. Расстояние между стенками не изменяется. К боковой поверхности $x_2=h$ приложено равномерное давление в виде „мертвой“, а к $x_2=-h$ „следящей“ нагрузок. Исследуется случай плоской деформации в плоскости $x_1 0 x_2$, когда в докритическом состоянии реализуются однородные начальные деформации.

$$u_m^0=\delta_{im}(\lambda_i-1)x_i;\ \lambda_i=\text{const}; \tag{1}$$

где $x_i\equiv x^i$—лагранжевы координаты; $\lambda_i$—удлинения.

Выбором

$$\lambda_1=1;\ \lambda_2<1;\ \lambda_3=1 \tag{2}$$

можно добиться удовлетворения граничных условий на торцевых поверхностях. При определении докритических состояний нет необходимости различать „мертвые“ и „следящие“ нагрузки. Следовательно, при этом можно использовать результаты работ [1—3].

Исходя из [1], можно основные уравнения и граничные условия задачи в рамках линеаризированной теории представить в виде

$$\omega_{ij\alpha\beta}\, u_{\alpha,i\beta}=0, \tag{3}$$

$$\left[\kappa_0\frac{\partial u_1}{\partial x_2}+(\lambda_2\mu_{12}-q)\frac{\partial u_2}{\partial x_1}\right]_{x_2=-h}=0;\ \kappa_0=\mu_{12}+S_{22}^0, \tag{4}$$



$$\left[(\lambda_2 a_{12}+q)\frac{\partial u_1}{\partial x_1}+\kappa_1\frac{\partial u_2}{\partial x_2}\right]_{x_2=-h}=0;\ \kappa_1=\lambda_2^2 a_{22}+S_{22}^0, \tag{5}$$

$$u_1\big|_{x_1=0;l}=0,\ \left[\lambda_2\mu_{12}\frac{\partial u_1}{\partial x_2}+(\lambda_2^2\mu_{12}+S_{11}^0)\frac{\partial u_2}{\partial x_1}\right]_{x_1=0;l}=0. \tag{6}$$

Составляющие тензора $\omega$ для всех вариантов теорий начальных деформаций конкретизируются заданием вида упругого потенциала [4]. При этом также определяются величины $a_{ij}$, $\mu_{ij}$, $S_{ij}^0$.

Граничные условия на поверхности $x_2=h$ имеют вид условий (4), (5) при $q=0$. Краевые условия удовлетворяются в интегральном смысле. Первое из них позволяет выполнение достаточного условия применимости статического метода исследования [1,5]. Следовательно, можно воспользоваться представлением общих решений уравнения (3) с учетом общей формы потери устойчивости для $m$-й гармоники

$$\begin{gathered}u_1=\beta^2\zeta_{11}^{-1}\left[(A+B+D\beta\zeta_1^{-1}x_2)\operatorname{sh}\beta\zeta_1^{-1}x_2+\right.\\ \left.+(C+D+B\beta\zeta_1^{-1}x_2)\operatorname{ch}\beta\zeta_1^{-1}x_2\right]\sin\beta x_1;\\ u_2=M\beta^2\{[(N\zeta_1^{-2}-1)A+2BN\zeta_1^{-2}+(N\zeta_1^{-2}-1)\beta\zeta_1^{-1}x_2D]\operatorname{ch}\beta\zeta_1^{-1}x_2+\\ +[(N\zeta_1^{-2}-1)C+2N\zeta_1^{-2}D+(N\zeta_1^{-2}-1)\beta\zeta_1^{-1}x_2B]\operatorname{sh}\beta\zeta_1^{-1}x_2\}\cos\beta x_1;\\ \beta=\frac{\pi m}{l};\ M=\lambda_2^{-1}\frac{a_{11}+S_{11}^0}{a_{12}+\mu_{42}};\ N=\frac{\kappa_0}{a_{11}+S_{11}^0}.\end{gathered} \tag{7}$$

Из граничных условий, заданных на боковых поверхностях с учетом (7), получаем характеристическое уравнение

$$\begin{gathered}\delta=0;\ \delta=\beta^{12}\left[4a_0b_0a_2b_2\alpha^2\zeta_1^{-2}+(a_0b_1-b_0a_1)(b_2a_3-a_2b_3)-\right.\\ \left.-4(b_1b_2-b_0b_3)(a_1a_2-a_0a_3)\operatorname{ch}^2\alpha\zeta_1^{-1}\operatorname{sh}^2\alpha\zeta_1^{-1}\right];\ \alpha=\beta h.\end{gathered} \tag{8}$$

Здесь введены следующие обозначения:

$$\begin{gathered}b_0=\kappa_0\zeta_1^{-2}-\lambda_2\mu_{12}(N\zeta_1^{-2}-1)M;\ b_1=2\zeta_1^{-2}(\kappa_0-\lambda_2\mu_{12}NM);\\ b_2=\zeta_1^{-1}[\lambda_2a_{12}+\kappa_1M(N\zeta_1^{-2}-1)];\ b_3=\zeta_1^{-1}[\lambda_2a_{12}+\\ +\kappa_1M(3N\zeta_1^{-2}-1)];\\ a_0=b_0+q(N\zeta_1^{-2}-1)M;\ a_1=b_1+2\zeta_1^{-2}qNM;\ a_2=b_2+\zeta_1^{-1}q;\\ a_3=b_3+\zeta_1^{-1}q.\end{gathered} \tag{9}$$

При $q=0$ уравнение (8) переходит в аналогичное уравнение (1), которое соответствует случаю равномерного бокового давления только „мертвыми“ нагрузками.

Сложность структуры уравнения (8) не позволяет провести его анализ для сжимаемой полосы с произвольной формой упругого потенциала. В связи с этим рассмотрим конкретные виды упругих потенциалов.

Т е о р и я  к о н е ч н ы х  д е ф о р м а ц и й  д л я  т е л а  с  п о т е н ц и а л о м  г а р м о н и ч е с к о г о  т и п а. В этом случае имеем (1,4).

$$S_{11}^0=\lambda(\lambda_2-1);\ S_{22}^0=(\lambda+2\mu)\frac{\lambda_2-1}{\lambda_2};\ a_{11}=-\lambda\lambda_2+2(\lambda+\mu); \tag{10}$$

$$a_{22}=\frac{\lambda+2\mu}{\lambda_2^3};\ a_{12}=\frac{\lambda}{\lambda_2};\ \mu_{12}=-\frac{\lambda}{\lambda_2}+\frac{2}{\lambda_2}\,\frac{\lambda+\mu}{1+\lambda_2};\ \zeta_1=1.$$

Подставляя выражения (10) в формулы (9) и в уравнение (8), получаем характеристический определитель

$$\begin{gathered}\delta=\beta^{12}(\lambda+\mu)^{-2}\{16\mu^2(\lambda+\mu)^2(q-2\mu)^2\alpha^2+(\lambda+2\mu)^2q^2[\lambda-\\-\lambda_2(\lambda+2\mu)]^2-16\mu(q-2\mu)(\lambda+\mu)[\lambda+\mu-\lambda_2(\lambda+2\mu)]\{[\mu+\\+\lambda_2(\lambda+\mu)][q+2(\lambda+\mu)]-2(\lambda+\mu)(\lambda+2\mu)\}\operatorname{ch}^2\alpha\operatorname{sh}^2\alpha\end{gathered}\qquad(11)$$

Корни характеристического уравнения (8), согласно постановке задачи, зависят от геометрического параметра $\frac{h}{l}$.

Учитывая это обстоятельство и принимая, что для „следящей" нагрузки $\lambda_2(\lambda+2\mu)=\lambda+2\mu-q$ из (11), получаем уравнение

$$\begin{gathered}[(\lambda+2\mu)^2+16\mu(\lambda+\mu)\operatorname{ch}^2\alpha\operatorname{sh}^2\alpha]q^3-2\mu[(\lambda+2\mu)^2+8(\lambda+\mu)(2\mu-\\-\lambda)\operatorname{ch}^2\alpha\operatorname{sh}^2\alpha]q^2+16\mu^2(\lambda+\mu)[(\lambda+\mu)\alpha^2-(3\lambda+\mu)\operatorname{ch}^2\alpha\operatorname{sh}^2\alpha]q-\\-32\mu^3(\lambda+\mu)^2(\alpha^2-\operatorname{ch}^2\alpha\operatorname{sh}^2\alpha)=0.\end{gathered}$$

Для произвольных значений параметра $\alpha$ кубическое уравнение (12) решается известными методами и находятся корни $q_i$ ($i=1, 2, 3$). Критическое значение интенсивности давления определяется в виде

$$q_{\text{кр}}=\min\{q_i\};\ q_i>0$$

Рассмотрим длинноволновую (для тонкостенной полосы) форму потери устойчивости с точностью до $\alpha^4$. Тогда из (12) находим

$$\begin{gathered}q_{\text{кр}}\approx\frac{2E}{3}\,\frac{\sqrt{3}(1-2\nu+4\nu^2)^{\frac{1}{2}}-3\nu}{(1-\nu^2)(1+\nu)}\alpha^2\left\{1-\frac{2\alpha^2}{3\nu}\left\{1+4\nu+\right.\right.\\\left.\left.+\frac{1-3\nu}{\nu(1-\nu)^2}\left[\sqrt{3}(1-2\nu+4\nu^2)^{\frac{1}{2}}-3\nu\right]\right\}\right\}.\end{gathered}\qquad(13)$$

Второй вариант теории малых докритических деформаций. Рассмотрим тела с потенциалом (1,4)

$$\Phi=\frac{1}{2}\lambda A_1^2+\mu A_2\qquad(14)$$

Здесь $A_1$, $A_2$—алгебраические инварианты тензора деформаций Грина.

При соответствующих упрощениях гармонический потенциал переходит к потенциалу (14) [4]. Поступая аналогично [1], обнаруживаем, что для второго варианта теории малых докритических деформаций критическое значение давления также определяется из выражения (13).

Определим величину критических нагрузок. Учитывая, что при переходе из естественного состояния в докритическое размеры тела не изменяются, напишем $\sigma_{22}^0=-q$. Согласно постановке задачи $\varepsilon_{11}^0=0$. Тогда из закона Гука имеем

$$\sigma_{11}^0=\frac{\lambda}{\lambda+2\mu}\sigma_{22}^0=-\frac{\lambda}{\lambda+2\mu}q\qquad(15)$$



Используя (13), в (15) для длинноволновой формы потери устойчивости получаем

$$\begin{gathered}(\sigma_{11}^0)_{\text{кр}}\approx-2\nu\frac{\sqrt{3}(1-2\nu+4\nu^2)^{\frac{1}{2}}-3\nu}{(1-\nu)^2}P_{\text{эл}}\left\{1-\frac{2\alpha^2}{3\nu}\left\{1+4\nu+\right.\right.\\\left.\left.+\frac{1-3\nu}{\nu(1-\nu)^2}\left[\sqrt{3}(1-2\nu+4\nu^2)^{\frac{1}{2}}-3\nu\right]\right\}\right\};\ P_{\text{эл}}=\frac{E}{3}\,\frac{\alpha^2}{1-\nu^2},\end{gathered}\qquad(16)$$

где $P_{\text{эл}}$—критическое значение нагрузки при осевом сжатии.

## Выводы

В случае полосы, которая при $x_1=0$; $l$ соприкасается без трения с абсолютно жесткими стенками, когда расстояние между ними не изменяется и к боковой поверхности $x_2=h$ приложено равномерное давление в виде „мертвой", а к $x_2=-h$ „следящей" нагрузок, состояние равновесия является неустойчивым. Сравнение полученных здесь результатов с результатами [1,3], показывает, что наличие на одной из боковых поверхностей „следящей" нагрузки оказывает стабилизирующее действие на состояние равновесия. Например, в случае тонкой полосы величина критической нагрузки для $\nu=0{,}3$ примерно на 28% больше, чем величина критической нагрузки, соответствующей случаю равномерного бокового давления „мертвыми" нагрузками.

### Литература

1. *Гузь А. Н.* Устойчивость упругих тел при всестороннем сжатии.—Киев: Наукова думка, 1979, 144 с. 2. *Гузь А. Н.*—Докл. АН УССР, серия А, 1976, № 10, с. 908—912. 3. *Гузь А. Н.*—Прикл. механика, 1977, 13, № 10, с. 50—58. 4. *Гузь А. Н.* Устойчивость упругих тел при конечных деформациях.—Киев: Наукова думка, 1973,—270 с. 5. *Гузь А. Н.*—Прикл. механика, 1978, 14, № 11, с. 29—41.

*Институт математики и механики АН АзССР*

*Поступило 25. X. 1983*

**h. h. Гулиjев**

## ЈАНДАН МУНТӘЗӘМ ТӘЗЈИГ ЗАМАНЫ СЫХЫЛАН ЧИСИМЛӘРИН ДАЈАНЫГЛЫГ НӘЗӘРИЈЈӘСИ

Араларындакы мәсафә дәјишмәјән мүтләг бәрк диварлар арасында сүртүнмәсиз јүкләндирилмиш биррабитәли изотроп сыхылан чисимләрин еластики таразлыг вәзијјәтинин дајаныглығы тәдгиг олунур. Јан сәтhләрдән биринә тәзјиг „өлү" јүк, дикәринә исә „изләјән" јүк шәклиндә тә'сир едир. Тәдгигат үчөлчүлү хәттиләшдирилмиш нәзәријјәнин бүтүн вариантлары үчүн критик hала гәдәрки бөјүк вә кичик деформасијалары нәзәрә алмагла үмуми шәкилдә јеринә јетирилмишдир. Конкрет олараг золаг үчүн мәсәлә нәзәрдән кечирилмиш вә көстәрилмишдир ки, бу hалда таразлыг вәзијјәти гејри-дајаныглыдыр. Јан сәтhләрдән бириндә „изләјән" јүкләрин олмасы дајаныглыг вәзијјәтини мөhкәмләндирир. Узундалгалы формада дајаныглығын итмәси hалы үчүн критик јүкләрин ифадәси алынмышдыр.

G. G. Kuliev

## ON THE THEORY OF THE STABILITY OF THE COMPRESSIBLE BODIES SUBJECTED TO THE UNIFORM LATERAL PRESSURE


The stability of the elastic equilibrium position of the isotropic incompressible bodies, which are put within rigid walls, is investigated. One of the lateral surface of the body is subjected to the „dead" pressure, but the other surface is under the „following" load.

The investigation was done for the general case of the free-dimensional linearised theory of the elastic stability for the finite and small subcritical strains.

The problem for the strips is considered in detail, and it is shown that in this case the equilibrium position is an unstable one.

The presence of the „following" pressure enhances the stability. The formula for the critical load for the long-wave form of the unstability is obtained.


---


АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД №8 1985

УДК 539.374.3


МЕХАНИКА


К. А. САРИДЖАНОВ


# О РЕШЕНИИ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЕФОРМИРОВАННОЙ ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ ДЛЯ НЕСЖИМАЕМОГО МАТЕРИАЛА СО СТЕПЕННЫМ ЗАКОНОМ УПРОЧНЕНИЯ

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ф. Г. Максудовым)*

В работе [3] на основе теории малых упругопластических деформаций [1] был предложен общий эффективный аналитический метод, который позволяет успешно применять вариационные методы решения экстремальных задач в напряжениях с неквадратичными функционалами при активном процессе нагружения с учетом сжимаемости материала.

В настоящей работе с помощью предложенного метода [3] показано, что в случае однородного напряженного состояния для изотропного несжимаемого материала со степенным законом упрочнения решение краевых задач теории малых упругопластических деформаций вариационными методами получается для любых значений параметра нагрузки.

Заметим, что параметр нагрузки может быть временем или любой другой величиной, определяющей последовательные значения напряжений.

Пусть деформируемое тело занимает объем $V$, ограниченный поверхностью $S=S_\sigma+S_u$; если на части поверхности тела $S_\sigma$ заданы напряжения (плотность заданных внешних поверхностных сил), на другой части поверхности тела $S_u$ заданы перемещения, граничные условия имеют вид:

$$\sigma_{ij}n_j\big|_{S_\sigma}=q_i(x_i),\quad U_i\big|_{S_u}=\varphi_i(x_i),\quad (i,j=1,2,3), \tag{1}$$

где $n_j$—внешняя единичная нормаль к поверхности $S$ тела, $q_i(x_i)$ — плотность заданных внешних поверхностных сил и $\varphi_i(x_i)$—заданные на поверхности $S_u$ функции.

Как частные случаи (1) содержат граничные условия в напряжениях $S_u=0$ и в перемещениях $S_\sigma=0$.

Для простоты полагаем, что объемные силы отсутствуют. В этом случае решения задачи в напряжениях ищем последовательными приближениями в форме

$$\sigma_{ij}^{(r)}=\overset{0}{\sigma}_{ij}+\sum_{k}A_k^{(r)}\cdot\sigma_{ij}^{(k)},\ (r=0,1,2,3,\ldots), \tag{2}$$

где $\overset{0}{\sigma}_{ij}$ — частное решение уравнения равновесия, удовлетворяющее заданным граничным условиям на поверхности тела $S_\sigma$, $\sigma_{ij}^{(k)}$, $(k=1,2,3\ldots,n)$—последовательность координатных функций (набор частных решений), удовлетворяющих уравнениям равновесия и однородным граничным условиям на поверхности тела $S_\sigma$, а $A_\text{к}^{(r)}$ — подлежащие определению постоянные коэффициенты.

Возможны другие варианты построения приближений [4].

Возьмем, например, уравнение принципа минимума полной дополнительной работы деформации тела с учетом несжимаемости материала [3]

$$R = \iiint\limits_V \frac{1}{C_r^\bullet} \cdot \frac{\sigma_u^2}{2}\, dV = \min, \tag{3}$$

при условии, что

$$\iint\limits_{S_\sigma} \delta q_i u_i\, ds = 0,$$

где $\dfrac{1}{G_r^\bullet} = \left(\dfrac{\sigma_u}{\sigma_u^0}\right)^{m-1} = \left(\dfrac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u^0}\right)^{1-\frac{1}{m}}$, $m$ — показатель степени в законе интенсивности деформации $\varepsilon_u = B\sigma_u^m$; $\sigma_u^0$ — некоторое характерное значение интенсивности напряжений $\sigma_u$; $B$ — постоянное, зависящее от механических свойств материала. Здесь $G_r^\bullet$ — секущий модуль, который является сложной функцией относительно неизвестных коэффициентов. Отметим, что для многих материалов в широком диапазоне выражение $\varepsilon_u = B\sigma_u^m$ с достаточной степенью точности аппроксимирует зависимость интенсивности напряжений от интенсивности деформаций в области упругопластических деформаций.

Этот функционал позволяет построить решение задачи в напряжениях и определить напряженное состояние.

Заметим, что сформулированная вариационная задача эквивалентна постановке статически краевой задачи теории малых упругопластических деформаций в напряжениях [1].

При получении системы линейных неоднородных алгебраических уравнений для определения неизвестных коэффициентов нет надобности заранее составлять выражение $R$ как функцию неизвестных коэффициентам $A_\text{к}^{(r)}$, так как непосредственно дифференцируя его по его коэффициентам $A_\text{к}^{(r)}$, получаем:

$$\frac{\partial R}{\partial A_\text{(}^{(r)}} = \iiint\limits_V \frac{1}{2G_c^{\bullet(r)}} \cdot \frac{\partial\left(\sigma_u^2\right)}{\partial A_\text{к}^{(r)}} \cdot dV = 0, \tag{4}$$

где

$$\frac{1}{2G_c^{\bullet(r)}} = \frac{1}{2G_r^\bullet} \cdot \left[1 + \frac{\sigma_{u(r-1)}}{2} \cdot \frac{d}{d\sigma_u} \ln\left(\frac{1}{2G_r^\bullet}\right)\right], \tag{5}$$

$$\frac{\sigma_{u(r-1)}}{2} \cdot \frac{d}{d\sigma_u} \ln\left(\frac{1}{2G_r^\bullet}\right) \geqslant 0$$

Следует отметить, что дополнительный член $\dfrac{\sigma_{u(r-1)}}{2} \cdot \dfrac{d}{d\sigma_u} \cdot \ln\left(\dfrac{1}{2G_r^\bullet}\right)$ обеспечивает более быструю сходимость процесса последовательных приближений [3].

Для какого-либо определенного значения параметра нагрузки (для фиксированной нагрузки, например, единичной) строим соответствующий набор статически возможных решений. Метод последовательных приближений решения задачи может быть построен следующим образом.



В нулевом приближении полагаем $\dfrac{1}{2G_c^{\bullet(r)}} = \dfrac{1}{2G_r^\bullet} = \dfrac{1}{2G_0^\bullet} = 1$, где $G_0^\bullet$ — модуль сдвига, значение неизвестных коэффициентов находим из системы линейных неоднородных алгебраических уравнений (4).

Далее, используя полученные значения неизвестных коэффициентов $A_\text{к}^{(0)}$, вычисляем компоненты тензора напряжений $\sigma_{ij}^{(0)}$, а по ним $\sigma_{u0}$. После этого $\varepsilon_{u0}$ найдем из физического закона деформирования $\varepsilon_{u0} = \left(2G_0^\bullet\right)^{-1} \cdot \sigma_{u0}$. Величину $\sigma_u^0$ выбираем как максимальное (или характерное) значение $\sigma_{u0}$. Затем по условию $\sigma_{u0} = \sigma_\text{т}$ устанавливаем границу упругой и пластической зон (пластической зоной является та область, в которой интенсивность напряжений больше предела текучести $\sigma_\text{т}$). Для построения последующих приближений величины $G_r^\bullet$ определяются как функции координат тела. В упругой области эти величины постоянны и равны модулю сдвига, а в пластической — их находят по формулам:

$$\frac{1}{G_r^\bullet} = \left(\frac{1}{G_{r-1}^\bullet} \cdot \frac{\sigma_{u(r-1)}}{\sigma_u^0}\right)^{1-\frac{1}{m}},$$

$$\frac{1}{2G_c^{\bullet(r)}} = \frac{1}{2G_r^x} \cdot \left[1 + \frac{\sigma_{u(r-1)}}{2} \cdot \frac{d}{d\sigma_u} \ln\left(\frac{1}{2G_r^\bullet}\right)\right].$$

Обозначим напряжения, деформации и перемещения, полученные в результате решения, через $\overset{\bullet}{\sigma}_{ij}$, $\overset{\bullet}{\varepsilon}_{ij}$, $\overset{\bullet}{u}_i$.

Пусть таким образом построено решение задачи $\overset{\bullet}{\sigma}_{ij}$, тогда при любой нагрузке будет $\sigma_{ij} = \lambda\overset{\bullet}{\sigma}_{ij}$, где $\lambda$ — параметр нагрузки. Перемещение при этом равно $u_i = \nu\overset{\bullet}{u}_i$, где $\nu$ — некоторая функция $\lambda$.

На основании соотношений $\varepsilon_{ij} = \dfrac{1}{2}\left(u_{i,j} + u_{j,i}\right)$ и $u_i = \nu\overset{\bullet}{u}_i$ заключаем, что $\varepsilon_{ij} = \nu\overset{\bullet}{\varepsilon}_{ij}$.

Отметим, что компоненты напряжений удовлетворяют дифференциальным уравнениям равновесия и усилиям на поверхности, а компоненты деформаций — условиям совместной деформации. Также удовлетворяются зависимости компонентов деформации от компонентов перемещения и зависимости компонентов напряжения от компонентов деформаций.

На основании соотношений $\varepsilon_u = B\sigma_u^m$, $\sigma_{ij} = \lambda\overset{\bullet}{\sigma}_{ij}$ и $\varepsilon_{ij} = \nu\overset{\bullet}{\varepsilon}_{ij}$ делаем вывод, что

$$\nu = \lambda^m,$$

В заключение отметим, что задачи теории малых упругопластических деформаций аналогичны задачам теории установившейся ползучести и стационарным задачам теории пластического течения [2], а при активном процессе нагружения также и физически нелинейной теории упругости, поэтому последние три типа задач могут решаться тем же способом.

Автор выражает глубокую признательность чл.-корр. АН СССР А. А. Ильюшину за обсуждение и интерес к работе.

### Литература


1. Ильюшин А. А. Пластичность.—М.: ОГИЗ, ГИ, ТТЛ, 1948, с. 376. 2. Ильюшин А. А.—Изв. АН СССР, ОНТ, 1958, № 2, с. 64—86. 3. Сариджанов К. А.—Вестн. московск. ун-та, матем., мех., 1982, № 6, с. 114. 4. Качанов Л. М.—Прикладная математика и механика, 1959, т. 23, вып. 3, с. 616—617.



*Институт математики и механики*
*АН АзССР*



*Поступило 25. XII. 1983*



К. Ә. Сариҹанов


## ГҮВВӘТ ГАНУНУ ИЛӘ МӨҺКӘМЛӘНӘН СЫХЫЛМАЈАН МАТЕРИАЛА МАЛИК ПЛАСТИКИ ДЕФОРМАСИЈА НӘЗӘРИЈЈӘСИНИН ГЕЈРИ-ХӘТТИ СӘРҺӘД МӘСӘЛӘСИНИН ҺӘЛЛИ ҺАГГЫНДА


Мәгаләдә тәклиф олунан вариасија үсулу илә сыхылмајан бирҹинс материала малик гүввәт гануну илә мөһкәмләнән, онда јүкләмә параметринин ихтијари гијмәти үчүн пластики деформасија нәзәријјәсинин гејри-хәтти сәрһәд мәсәләсинин һәлли алынмышдыр.



K. A. Saridjanov


## ON SOLUTION OF BOUNDARY VALUE PROBLEMS OF DEFORMATIONAL PLASTICITY THEORY FOR INCOMPRESSIBLE MATERIAL WITH POWER LAW HARDENING


It is proved that in the case of homogeneous strain state for incompressible material with power law hardening, the solution of nonlinear boundary value problem of deformational plasticity theory by variational methods is obtained at once for any values of loading parameter.


---


АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД | № 8 | 1985

УДК 548.74


ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ


Ф. И. АЛИЕВ, М. А. НУРИЕВ, Р. Б. ШАФИЗАДЕ


## ИССЛЕДОВАНИЕ БЛИЖНЕГО ПОРЯДКА АМОРФНЫХ ПЛЕНОК $CuJnSe_2$

(*Представлено академиком АН Азербайджанской ССР М. И. Алиевым*)

Известно, что соединение $CuJnSe_2$ кристаллизуется в структуре халькопирита, и является весьма перспективным в разработке преобразователей солнечной энергии, оптоэлектронике, ИК-технике нелинейной оптики [4].

Кристаллическая фаза $CuJnSe_2$ имеет тетрагональную решетку с периодами $a = 5{,}77$ Å, $c = 11{,}5$ Å; пространственная группа $I\bar{4}2d$ [2,3]. Аморфные пленки этого соединения получены испарением порошкообразного $CuJnSe_2$ на стеклянные подложки, имеющие температуру 77 К, скорость осаждения 20 Å/мин [4]. Авторы отмечают, что такой режим получения аморфных пленок приводит к их обогащению медью. Это, возможно, связано с малой скоростью осаждения, в результате чего происходит частичная потеря легколетучего компонента.

Для исследования ближнего порядка в тонких пленках $CuJnSe_2$, что является основной задачей данной работы, аморфные пленки толщиной 200 Å нами были получены в следующем режиме. Исходным материалом для испарения служил синтезированный монокристаллический $CuJnSe_2$. Навеска испарялась в вакууме—$10^{-5}$ мм рт. ст. из вольфрамовой навитой конической спирали. Скорость осаждения около 40 А/сек. Аморфные пленки $CuJnSe_2$ образуются как на подложках из свежих сколов монокристаллов каменной соли, находящихся при температуре—50°C, так и при комнатной температуре.

На дифракционной картине аморфного $CuJnSe_2$ хорошо видны три диффузные линии, соответствующие $S = 4\pi\frac{\sin\theta}{\lambda}$ — 1,93; 3,18; 5,36 $\text{Å}^{-1}$. Последующая кристаллизация полученных аморфных пленок при 150° С приводит к образованию поликристаллического $CuJnSe_2$ с известной тетрагональной решеткой [2].

Кривая рассеяния аморфной фазы $CuJnSe_2$ получена с помощью электрической регистрации на приборе ЭР-100 при напряжении 50 кВ с использованием фильтра неупругих электронов. Для учета фона и нормировки экспериментальной интенсивности применяли метод Набитовича [5]. Расчет кривой радиального распределения атомов (КРРА, рис. 1) проведен на ЭВМ ЕС-1022. Верхний предел интегрирования $S_{max} = 10\ \text{Å}^{-1}$.

На КРРА хорошо проявлены четыре максимума; радиус первой изолированной координационной сферы $r_1 = 2{,}50$ Å, второй—$r_2 = 3{,}53$ Å третьей —$r_3 = 4{,}10$ Å и четвертой $r_4 = 4{,}70$ Å. Площади под соответствующими максимумами равны $\Delta_1 = 24{,}3$; $\Delta_2 = 27{,}4$; $\Delta_3 = 42{,}7$ и $\Delta_4 = 43{,}7$.

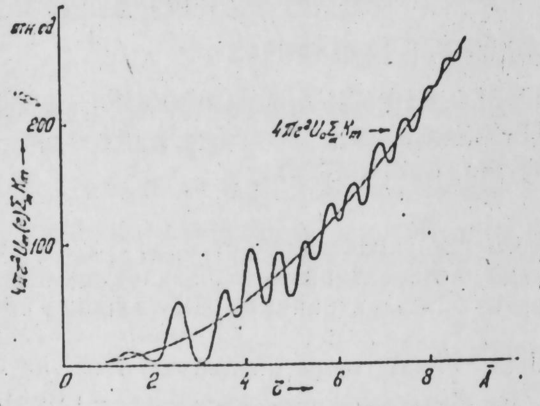



*Рис. 1.* Кривая радиального распределения атомов аморфного $CuInSe_2$

Первый пик при $r_1 = 2{,}50$ Å можно интерпретировать как среднее из расстояний Cu—Se и Jn—Se. В кристаллической решетке $CuJnSe_2$ ближайшее расстояние Cu—Se равно 2,40 Å, а Jn—Se = 2,59 Å. Среднее из них равно 2,50 Å, т. е. совпадает с полученным из кривой радиального распределения. Тетраэдрические ковалентные радиусы атомов Cu, Jn и Se соответственно равны 1,35; 1,44; 1,14 Å [6], что также приводит к удовлетворительному согласию с данными, полученными из КРРА. Расчет величины площади под первым пиком (22,5) в предположении, что в аморфном $CuJnSe_2$ координационное число, как и в кристаллическом равно 4, дает хорошее согласие с экспериментально полученным $\Delta_1$.

Вторую координационную сферу с $r_2 = 3{,}53$ Å можно, по-видимому, интерпретировать как расстояние между атомами Se—Se. Такое расстояние реализуется в структуре $Jn_2Se_3$ [7].

Расчет соответствующего координационного числа дает значение $n_2 = 5{,}4$.

Экспериментально полученные значения радиусов координационных сфер $r_3$ и $r_4$ соответствуют набору межатомных расстояний Cu—Cu, Cu—Jn, Se—Se для третьей и Cu—Se, Jn—Se для четвертой координационных сфер в кристаллическом $CuJnSe_2$.

Нами также рассмотрена модель гетерогенного строения аморфной $CuJnSe_2$ которая отвечает экспериментальной КРРА в пленке.

Таким образом, определенный для аморфных пленок $CuJeSe_2$ радиус первой координационной сферы $r_1 = 2{,}50$ Å и соответствующее координационное число $n_1 = 4$ свидетельствуют о схожести структур ближнего порядка в аморфном и кристаллическом $CuJnSe_2$. На это указывает еще и тот факт, что дифракционные максимумы аморфного $CuJnSe_2$ совпадают с линиями поликристаллической фазы.



Наиболее четко это проявляется на микрофотограммах электронограмм, показывающих кристаллизацию аморфных пленок $CuJnSe_2$ (рис. 2).

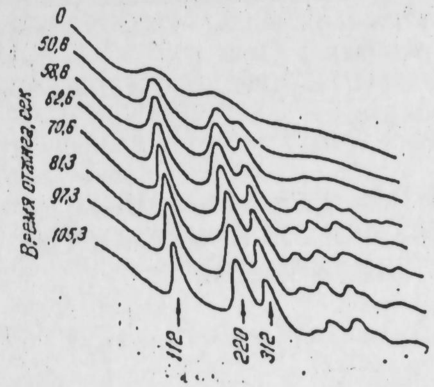



*Рис. 2.* Микрофотограмма электронограмм на различных этапах кристаллизации $CuInSe_2$ при 150 °C

## Литература


1. *Kazmerski L. L., White F. R., Ayyagari M. S., Juang Y. J.* and *Patterson R. P.*—J. Vac. Sci. Technol., 1977, 14, 65. 2. *Hahn H., Frank G., Klinger W., Meyer A.* and *Storger G.*—Z. anorg. Allg. Chem., 1953, 271, 153. 3. *Kazmerski L. L., Ayyagari M. S., Sanborn G. A., White F. R.* and *Merrill A. J.*—Thin, Solid Films, 1976, 37, 323. 4. *Durny R., Hill A. E.* and *Tomlinson R. D.*—Thin Solid Films, 1980, 69, № 2, L11—L13. 5. *Набитович И. Д., Стециев Я. И., Волощук Я. В.*—Кристаллография, 1967, 12, 584. 6. *Вайнштейн Б. К., Фридкин В. М., Инденбом В. Л.* Современная кристаллография, т. 2.—М.: Наука, 1979,359. 7. *Семилетов С. А.*—Кристаллография 1958, 3, 3, 288.



*Институт физики АН АзССР*



*Поступило 10. IV. 1984*



**Ф. И. Әлијев, М. Ә. Нуријев, Р. Б. Шәфизадә**


### $CuJnSe_2$ НАЗИК АМОРФ ТӘБӘГӘЛӘРИНДӘ ЈАХЫН НИЗАМЫН ТӘДГИГИ


Вакуумда бухарландырма јолу илә алынмыш $CuJnSe_2$ аморф тәбәгәләриндә јүксәк енержили електронларын сәпилмә интенсивлијинин фурје анализи васитәсилә атомларын радиал пајланма әјриси гурулмушдур. Әјријә көрә биринчи координасија сферасынын радиусу $r_1 = 2{,}50$ Å тапылмышдыр ки, бу да Cu-Se вә Jn—Se атомлараасы мәсафәләри характеризә едир. Координасија әдәдинин $n_1 = 4$ олмасы көстәрир ки, $CuJnSe_2$-нин аморф вә кристал фазаларында јахын низам ујғундур.



**F. I. Aliyev, M. A. Nuriyev, R. B. Shafizade**


### INVESTIGATION OF THE SHORT RANGE ORDER IN AMORPHOUS $CuInSe_2$


The curve of the radial distribution of the atoms in amorphous $CuInSe_2$ is plotted basing on the Fourier analysis of the experimental intensity curve. The radius of first coordination sphere obtained from the radial distribution curve is equal to $r_1 = 2.50$ Å. This corresponds to the distance between Cu—Se and In—Se atoms.

The coordination number $n_1 = 4$ shows that the short range order in amorphous and crystalline phases is the same.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 621—315. 592.

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

З. А. ИСКЕНДЕР-ЗАДЕ, О. М. САДЫХОВ, А. Ш. АБДИНОВ

# ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ ГАДОЛИНИЯ НА ИНДУЦИРОВАННУЮ СОБСТВЕННЫМ СВЕТОМ ПРИМЕСНУЮ ФОТОПРОВОДИМОСТЬ В МОНОКРИСТАЛЛАХ СЕЛЕНИДА ИНДИЯ

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Э. Ю. Салаевым)*

Ранее в [1,2] было установлено, что в специально нелегированных высокоомных монокристаллах InSe при $T < 150$ К обнаруживается индуцированная собственным светом примесная фотопроводимость, которая охватывает диапазон длин волн $1{,}90 \leqslant \lambda \leqslant 3{,}60$ мкм и имеет максимум при $\lambda_{max} = 2{,}64$ мкм. Показано, что она непосредственно связана с заполнением уровней прилипания основных носителей с глубиной залегания $\varepsilon_m = \varepsilon_c - 0{,}34$ эВ собственным светом и последующим опустошением их под действием примесной подсветки. При этом также было установлено, что хотя общие закономерности индуцированной собственным светом примесной фотопроводимости (ИПФ) в изучаемых образцах InSe удовлетворительно объясняются на основе уже известных [3,4] представлений об этом эффекте в пространственно неоднородных полупроводниках, однако в InSe проявляется и ряд расхождений, непосредственно связанных с его пространственной неоднородностью. В частности, в InSe индуцированное состояние образца сохраняется более длительное время после прекращения собственного света и обнаруживается индуцированная фотопамять в примесной области поглощения.

Данная работа посвящена исследованию влияния примесей гадолиния на ИПФ в монокристаллах InSe.

Исследуемые образцы размером $0{,}04 \div 0{,}10 \times 1$, $0 \div 3$, $0 \times 3{,}0 \div 5{,}0$ мм³ изготавливались путем скалывания полученных методом Бриджмена при идентичных технологических режимах крупных слитков монокристаллов InSe;Gd, содержащих 0; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35 и 0,40 ат. % Gd. Легирование производилось путем добавления Gd в шихту перед началом синтеза.

Изменение производилось при непрерывном или импульсном воздействии собственного и примесного света при $T = 77 \div 300$ К, длине волны $\lambda = 0{,}3 \div 4{,}0$ мкм и интенсивности света вплоть до $\Phi \approx 0 \div 5 \cdot 10^3$ лк по описанной в [2] методике.

Снималось спектральное распределение фотопроводимости исследуемых образцов (рис. 1 и 2 для InSe и InSe:Gd соответственно) при трех различных условиях: в исходном состоянии, непрерывном воздействии фоновой собственной подсветки и после прекращения воздействия собственной подсветки. В результате было установлено, что в кристаллах InSe (рис. 1, кр. *1*) в исходном состоянии в области собственного поглощения ($0{,}35 \leqslant \lambda \leqslant 1{,}15$ мкм) наблюдается положительная фотопроводимость с максимумом при $\lambda = 0{,}95$ мкм, а в области примесного поглощения—отрицательная (при $1{,}20 \leqslant \lambda \leqslant 1{,}90$ мкм) и относительно слабая положительная примесная фотопроводимость (при $1{,}90 \leqslant \lambda \leqslant 3{,}60$ мкм) с максимумами при $\lambda = 1{,}70$ мкм и $\lambda = 2{,}64$ мкм соответственно. При воздействии фоновой подсветки (рис. 1, кр. *2*) и после предварительного воздействия собственного света (рис. 1, кр. 3) указанная структура спектрального распределения фоточувствительности, а также диапазоны и местонахождения максимумов отдельных участков спектрального распределения сохраняются, лишь значение примесной фотопроводимости увеличивается, а отрицательная фотопроводимость резко исчезает.



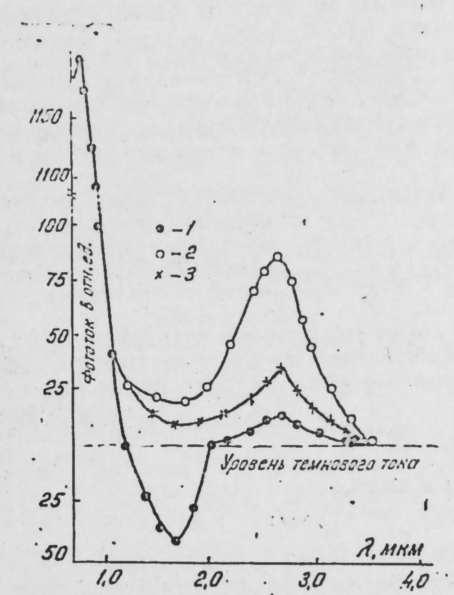



*Рис. 1.* Спектральное распределение фототока в InSe в исходном состоянии (кр. *1*) при фоновой подсветке (кр. *2*) и после предварительного воздействия собственного света (кр. *3*). $T = 77$ К; $\lambda_c = 0{,}95$ мкм; $\Phi_c = \Phi_{max}$; $\Phi_{пр.} = \Phi_{max}$

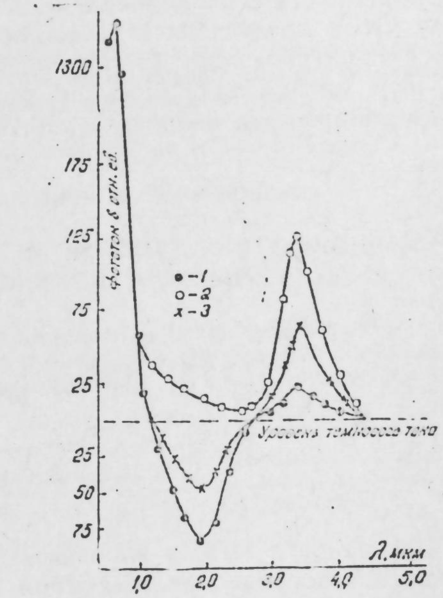



*Рис. 2.* Спектральное распределение фототока в InSe:Gd в исходном состоянии (кр. *1*), при фоновой подсветке (кр. *2*) и после предварительного воздействия собственного света (кр. *3*). $T = 77$ К; $\lambda_c = 0{,}95$ мкм; $N_{Gd} = 0{,}4$ ат %; $\Phi_c = \Phi_{max}$; $\Phi_{пр.} = \Phi_{max}$

При легировании (рис. 2, кр. *1*), по мере роста содержания гадолиния ($N_{Gd}$), во-первых, немонотонно меняется значение собственной ($I_{фс}$), отрицательной ($\overline{I_ф}$) и примесной фотопроводимости ($I_{фп}$), во-вторых, сужается диапазон спектрального распределения примесной фотопроводимости, а максимум его смещается в сторону длинных волн, в-третьих, длинноволновый край спектрального распределения примесной фотопроводимости становится более резким. С ростом $N_{Gd}$ уменьшается также температурная граница примесной фотопроводимости. Диапазон спектрального распределения собственной фотопроводимости при этом не изменяется.

В случае кристаллов InSe в InSe: Gd с $N_{Gd} > 0{,}25$ ат. % ИПФ обнаруживается как при воздействии фоновой подсветки (рис. 2, кр. 2), так и после предварительного воздействия собственного света (рис. 2, кр. 3). Однако в отличие от кристаллов InSe, в InSe:Gd состояние с ИПФ исчезает значительно быстрее.

Нами исследована зависимость ИПФ от интенсивности примесного света при различных условиях. Оказалось, что при этом в зависимости от условий эксперимента меняются лишь численные значения ИПФ и интенсивностей, при которых наблюдаются переходы от линейного к сублинейному участку в ЛАХ, а общие закономерности зависимости $I_{\text{фп}}$ от $\Phi_{\text{п}}$ сохраняются. В частности, при относительно низких интенсивностях примесного света $I_{\text{фп}}$ зависит от $\Phi_{\text{п}}$ линейно, а затем (при относительно больших $\Phi_{\text{п}}$) эта зависимость ослабевает.

В результате исследования кинетики ИПФ (рис. 3) было установлено, что в кристаллах InSe наблюдается память собственной, примесной и индуцированной примесной фотопроводимостей.

При легировании процесс релаксации фотопроводимостей всех видов ускоряется, и при $N_{\text{Gd}} > 0{,}25$ ат., % эффект памяти исчезает

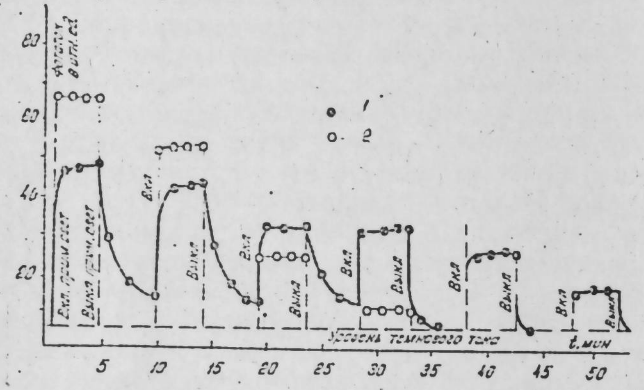



*Рис. 3.* Кинетика индуцированной предварительным собственным светом примесной фотопроводимости в монокристаллах InSe (кр. *1*) и InSe:Gd (кр. *2*). $T = 77$ К; $\lambda_c = 0{,}95$ мкм; $\lambda_{\text{пр.1}} = 2{,}7$ мкм; $\lambda_{\text{пр.2}} = 3{,}0$ мкм; $N_{\text{Gd}} = 0{,}4$ ат %; $\Phi_c = \Phi_{max}$; $\Phi_{\text{пр.}} = \Phi_{max}$

Особенности ИПФ в изучаемых нами образцах InSe хорошо объясняются на основе предложенной в [2] барьерной модели этого материала. Можно предполагать, что при легировании происходит упорядочение энергетического рельефа кристалла путем сближения проводимости низкоомной матрицы к проводимости высокоомного включения, так как с ростом $N_{\text{Gd}}$ удельное сопротивление изучаемых образцов сильно увеличивается. Из-за стирания неоднородности обусловленные ими эффекты ослабляются и наконец, совсем исчезают. Что касается зависимости ширины, красной границы и максимума спектрального распределения ИПФ от легирования в изучаемых образцах, по-видимому, все они связаны с изменением взаимодействия между примесными уровнями [1,5].

По красной границе спектрального распределения ИПФ следует что при росте $N_{\text{Gd}}$ от нуля до 0.4 % ат. энергетическая глубина залегания уровней прилипания уменьшается от 0,34 до ~ 0,29 эВ. Следовательно, уменьшается верхняя температурная граница ($T_{\text{гр}}$) и увеличивается длина волны соответствующей красной границы ($\lambda_{\text{гр}}$). В свете этого предположения обнаруженное в эксперименте сужение диапазона спектрального распределения и резкий спад длинноволновой части спектра также могут объясняться уменьшением глубины залегания $r$-центров и $m$-уровней прилипания, вследствие взаимодействия донорно-акцепторных пар.



### Литература


1. *Абдинов. А. Ш.* Автореф. дисс... докт. физ.-техн. наук.—Баку, 1979. 2. *Гасанов Я. Г.* Автореф. дисс... канд. физ.-тех. наук.—Баку, 1984. 3. *Аркадьева Е. Н., Касымова В. С., Рывкин С. М.*—ФТТ, 1961, 8,2417. 4. *Аркадьева Е. Н., Парицкий Л. Г.-Рывкин С. М.*—ФТТ, 1960. 2, 1160, 5. *Ризаханов М. А.*—ФТП, 1975, 9, 2002.



*Азербайджанский политехнический институт им. Ч. Ильдрыма*



*Поступило 18. I. 1985*



**З. Ә. Искәндәрзадә, О. М. Садыгов, Ә. Ш. Абдинов**


## ИНДИУМ СЕЛЕН МОНОКРИСТАЛЛАРЫНДА ГАДОЛИНИУМ АШГАРЛАРЫНЫН МӘХСУСИ ИШЫГЛА ИНДУКСИЈАЛАНМЫШ АШГАР ФОТОКЕЧИРИЧИЛИЈИНӘ ТӘ'СИРИ


Мәгаләдә индиум селен монокристалларында мәхсуси ишыгла индуксијаланмыш ашгар фотокечиричилијинә гадолиниум ашгарларынын тә'сири тәдгиг едилмишдир. Мүәјјән олунмушдур ки, ашгарланмыш нүмунәләрдә бу фотокечиричилијин спектри вә максимуму узун далга областына догру сүрүшүр. Алынмыш нәтичәләр өјрәнилән јарымкечиричидә ашгар мәркәзләринин гаршылыглы тә'сири илә изаһ едилир.



**Z. A. Iskender-Zade, O. M. Sadikhov, A. Sh. Abdinov**


## THE INFLUENCE OF Gd IMPURITY ON THE IMPURITY PHOTOCONDUCTION INDUCED BY INTRINSIC LIGHT IN THE InSe SINGLE CRYSTALS


The influence of Gd impurity on the photoconduction in the InSe single crystals indued by intrinsic light was investigated. It is found that the spectral distributinos range and the maximum impurity photoconductivity shift to the long wavelength in doped crystals.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985



УДК 538:115

Чл.-корр. АН Азерб. ССР Ю. М. СЕИДОВ, А. М. СУЛЕЙМАНОВ

# КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В СИНГЛЕТ-ТРИПЛЕТНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

В данной работе теоретически исследовано комбинационное рассеяние света в синглет-триплетных ферромагнетиках. В этих системах спин-орбитальное взаимодействие сильнее, чем в обычных магнитоупорядоченных, поэтому основным механизмом рассеяния света в данном случае считается спин-орбитальный механизм. Сущность этого механизма состоит в косвенном (непрямом) взаимодействии электрического вектора световой волны со спиновой системой через спин-орбитальное взаимодействие. При этом не обязательно, чтобы орбитальный момент отличался от нуля в основном состоянии магнитного иона, достаточно наличия спин-орбитального взаимодействия в том возбужденном состоянии, которое определяет дисперсию показателя преломления на рабочей частоте.

Схема энергетических уровней иона в кристаллическом поле в синглет-триплетных ферромагнетиках имеет вид [1], описанный на рисунке. Основное состояние иона в кристаллическом поле является

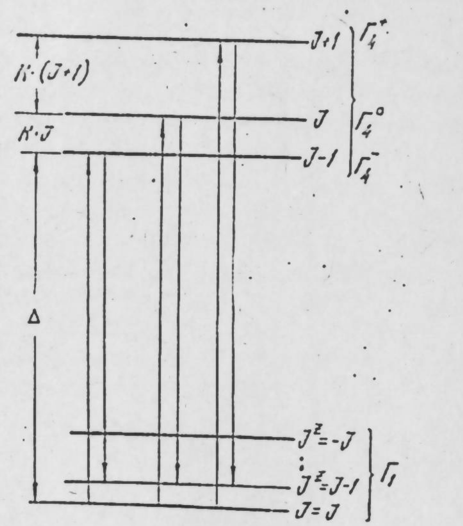



Схема энергетических уровней для иллюстрации электродипольного рассеяния света на коллективных возбуждениях в синглет-триплетных ферромагнетиках

синглетным ($\Gamma_1$), а первое возбужденное состояние—триплетным ($\Gamma_4$). Обменное поле расщепляет основное состояние на $(2J+1)$ подуровней, а возбужденное состояние расщепляется на три компоненты ($\Gamma_4^-$, $\Gamma_4^0$, $\Gamma_4^+$) за счет спин-орбитального взаимодействия. Коллективные возбуждения в таких системах представляют собой линейную комбинацию возбуждений индивидуальных ионов из состояния $J^z=J$ в состояние $J^z=J-1$. Рассеяние света происходит посредством виртуального электродипольного перехода в возбужденное состояние с последующим излучением, но уже уменьшенной частоты (для стоксовского процесса). На рисунке показаны три возможные пары таких переходов.

Гамильтониан электродипольного взаимодействия между излучением и электронами магнитных ионов имеет вид:

$$H_{эд} = -e\cdot\sum_i \vec{E}_i\cdot\vec{r}_i$$

Электромагнитное поле $\vec{E}_i$ в кристалле определяется векторным потенциалом:

$$\vec{E}_i = -\frac{1}{c}\cdot\frac{\partial\vec{A}_i}{\partial t}$$

В терминах метода вторичного квантования:

$$\vec{A}_i = c\cdot\sum_{\vec{\kappa}}\left(\frac{2\pi h^*}{V\cdot\omega_\kappa\cdot\xi_\kappa^2}\right)^{1/2}\cdot\vec{l}_\kappa\cdot\exp(i\vec{\kappa}\vec{r}_i)\cdot(b_\kappa+b_\kappa^+),$$

где $\xi_\kappa$—показатель преломления на частоте $\omega_\kappa$; $\vec{e}_\kappa$—поляризация, т. е. единичный вектор электрической компоненты световой волны; $\vec{\kappa}$—волновой вектор света: $b_\kappa^+$ и $b_\kappa$—соответственно операторы рождения и уничтожения фотона.

Учитывая указанные энергетические уровни и возможные переходы, можно написать матричный элемент для процесса рассеяния в следующем виде:

$$M_i = \frac{\pi h^*\cdot e^2\cdot(\omega_1\omega_2)^{1/2}\cdot K\cdot J^{1/2}}{\eta_1\eta_2 V}\cdot\left\{\frac{1}{(\Delta-h^*\omega_1)^2}-\frac{1}{(\Delta+h^*\omega_2)^2}\right\}\times$$
$$\times\left(e_1^z e_2^+ - e_1^+ e_2^z\right)\cdot\langle 0,0\,|\,r_i^z\,|\,1,0\rangle\cdot\langle 1,-1\,|\,r_i^-\,|\,0,0\rangle,$$

где $\omega_1$, $\omega_2$—частоты, а $\vec{e}_1$, $\vec{e}_2$—поляризации падающей и рассеянной световой волн, соответственно; $\eta_1$—показатель преломления на частоте $\omega_1$; $\eta_2$—показатель преломления на частоте $\omega_2$; $K$—константа спин-орбитального взаимодействия: $\Delta$—энергетическая щель между основным и первым возбужденным состояниями, вызванная действием кристаллического поля; $e^+ = e^x + i\cdot e^y$; $r^- = x - iy$; в бра и кет—векторах цифра указывает величину $J$ и $J^z$, соответственно.

Матричный элемент $M_i$ связывает основное состояние $J^z=J$ с состоянием $J^z=J-1$. Его можно написать через операторы $J^-$, используя из соотношения:

$$J^-|J, J\rangle = (2J)^{1/2}\,|J, J-1\rangle \quad (1)$$

Теперь матричный элемент $M_i$ надо просуммировать по всем магнитным ионам в кристалле. Учитывая (1), результат суммирования

* Здесь и далее $h^* = \frac{h}{2\pi}$.

можно написать в форме гамильтониана, содержащего операторы $J_1^-$ (гамильтониан стоксовского рассеяния):

$$H^{\text{ст}} = \Gamma \cdot \sum_i \left(E_1^z E_2^+ - E_1^+ E_2^z\right) \cdot J_i^-, \tag{2}$$

где

$$\Gamma = \frac{e^2 \cdot K}{2^{3/2}} \cdot \left\{ \frac{1}{(\Delta - h^* \omega_1)^2} - \frac{1}{(\Delta + h^* \omega_2)^2} \right\} \cdot \langle 0,0 | r^z | 1,0 \rangle \cdot \langle 1,-1 | r_i^- | 0,0 \rangle$$

Аналогичным образом можно найти гамильтониан антистоксовского рассеяния:

$$H^{\text{антист.}} = -\Gamma \cdot \sum_i \left(E_1^z E_2^- - E_1^- E_2^z\right) \cdot J_i^+$$

Теперь найдем дифференциальное поперечное сечение стоксовского рассеяния света в синглет-триплетных ферромагнетиках. Для этого отметим, что в общем случае, когда взаимодействие падающего света с магнитной системой описывается гамильтонианом:

$$H_{\text{вз.}} = \sum_{\alpha\beta} \sum_{\vec{r}} E_1^\alpha(\vec{r}) \cdot E_2^\beta(\vec{r}) \cdot M^{z\beta}(\vec{r}) \tag{3}$$

формула для дифференциального поперечного сечения рассеяния имеет вид [2]:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega\, d\omega_2} = -\frac{2h' \omega_1 \omega_2^3 \eta_2}{c^4 \cdot V \cdot \eta_1} \cdot \sum_{\alpha\beta j\delta} l_1^\alpha \cdot l_2^\beta l_1^j l_2^\delta \cdot I_m G\left\{ a_2 M^{\alpha\beta}(\vec{\kappa});\ a_2^+ M^{j\delta *}(\vec{\kappa}) \right\}, \tag{4}$$

где $a_2^+$, $a_2$ — операторы рождения и уничтожения рассеянного фотона.

Сравнивая (2) с (3) из общей формулы (4) получим следующее выражение для дифференциального поперечного сечения стоксовского рассеяния света в синглет-триплетных ферромагнетиках:

$$\left(\frac{d^2\delta}{d\Omega\, d\omega_2}\right)_{\text{Ст}} = -\frac{2h \omega_1 \omega_2^3 \eta_2}{c^4 V \eta_1} \cdot \Gamma^2 \cdot \left| l_1^z l_2^+ - l_1^+ l_2^z \right|^2 \cdot \sum_{l,l'} I_m G\left(a_2 J_l^+;\ a_2^+ J_1^-\right) \tag{5}$$

Функцию Грина $G(a_2 J_i^+;\ a_2^+ J_1^-)$ можно вычислить, используя из уравнения движения и расщепления Тябликова. При этом гамильтониан синглет-триплетного ферромагнетика будем записывать в псевдоспиновом формализме:

$$H = \Delta \cdot \sum_i \vec{S}_i \cdot \vec{T}_i - \sum_{i,j} J(i-j)\left(\alpha\vec{S}_i + \beta\vec{T}_i\right) \cdot \left(\alpha\vec{S}_j + \beta\vec{T}_j\right) - g\mu_B H_0 \sum_i \left(\alpha S_i^z + \beta T_i^z\right) + h^* \omega_2 a_2^+ a_2$$

Здесь последний член учитывает энергию рассеянного фотона, а операторы $\vec{S}$ и $\vec{T}$ введены преобразованием [1] $\vec{J} = \alpha\vec{S} + \beta\vec{T}$ с реальными коэффициентами $\alpha$ и $\beta$. В результате вычисления для функции Грина $G\ (a_2 J_i^+;\ a_2^+ J_1^-)$ получим:

$$G\left(a_2 J_i^+;\ a_2^+ J_{i'}^{-1}\right) = \frac{1}{2\pi \cdot N} \cdot \sum_{\kappa} \frac{e^{i\vec{\kappa}(\vec{r}_i - \vec{r}_{i'})}}{(h^* \omega_1 - h^* \omega_2 - E_{1\kappa})(h^* \omega_1 - h^* \omega_2 - E_{2\kappa})} \times$$



$$\times \Big\{ \left[\alpha^2 (h^* \omega_1 - h^* \omega_2 - B_\kappa) + \alpha\beta D_\kappa\right] \langle S_i^+ S_{i'}^- \rangle_\kappa + \left[\alpha\beta (h^* \omega_1 - h^* \omega_2 - A_\kappa) + \alpha^2 D_\kappa\right] \cdot \langle T_i^+ S_{i'}^- \rangle_\kappa + \left(\alpha\beta (h^* \omega_1 - h^* \omega_2 - B_\kappa) + \beta^2 D_\kappa\right] \cdot \langle S_i^+ T_{i'}^- \rangle_\kappa + \left[\beta^2 \cdot (h^* \omega_1 - h^* \omega_2 - A_\kappa) + \alpha\beta D_\kappa\right] \cdot \langle T_i^+ T_{i'}^- \rangle_\kappa \Big\}, \tag{6}$$

где

$$E_{1\kappa} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (A_\kappa + B_\kappa) + \left[(A_\kappa + B_\kappa)^2 + 4 \cdot D_\kappa^2\right]^{1/2} \right\}$$

$$E_{2\kappa} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (A_\kappa + B_\kappa) - \left[A_\kappa + B_\kappa)^2 + 4 \cdot D_\kappa^2\right]^{1/2} \right\}$$

— энергии элементарных возбуждений синглет-триплетных ферромагнетиков [8],

$$A_\kappa = 2\alpha^2 (J(0) - J(\kappa)) \langle S^z \rangle - \Delta \cdot \langle T^z \rangle + 2\alpha\beta J(0) \langle T^z \rangle + \alpha g \mu_B H_0$$

$$B_\kappa = 2\beta^2 (J(0) - J(\kappa)) \langle T^z \rangle - \Delta \langle S^z \rangle + 2\alpha\beta J(0) \langle S^z \rangle \neq \beta g \mu_B H_0$$

$$D_\kappa = \Delta \langle S^z \rangle - 2\alpha\beta \langle S^z \rangle J(\kappa) = \Delta \langle T^z \rangle - 2\alpha\beta \langle T^z \rangle J(\kappa)$$

$$J(\kappa) = \sum_\Delta J(\Delta) e^{-i\kappa\Delta};\quad J(0) = \sum_\Delta J(\Delta)$$

Вычисляя корреляционные функции $\langle S_i^+ S_{i'}^- \rangle_\kappa$, $\langle T_i^+ S_{i'}^- \rangle_\kappa$, $\langle S_i^+ T_{i'}^- \rangle_\kappa$, $\langle T_i^+ T_{i'}^- \rangle_\kappa$ и подставляя их значения в (6), для $\sum_{i,i'} G\left(a_2 J_i^+;\ a_2^+ J_{i'}^-\right)$, получим:

$$\sum_{i,i'} G\left(a_2 J_i^+;\ a_2^+ J_{i'}^-\right) = \frac{N}{\pi} \times \left[ \frac{\langle \alpha^2 S^z + \beta^2 T^z \rangle \cdot D_0^2 + \alpha\beta D_0 \langle S^z + T^z \rangle \cdot (E_{10} - (A_0 + B_0))}{(h^* \omega_1 - h^* \omega_2 - E_{10})(-E_{10} + E_{20}) \cdot \left(\exp\left(-\frac{E_{10}}{\kappa_B T}\right) - 1\right)} + \frac{\langle \alpha^2 S^z + \beta^2 T^z \rangle \cdot D_0^2 + \alpha\beta D_0 \langle S^z + T^z \rangle \cdot (E_{20} - (A_0 + B_0))}{(h^* \omega_1 - h^* \omega_2 - E_{20})(-E_{20} + E_{10}) \left(\exp\left(-\frac{E_{20}}{\kappa_B T}\right) - 1\right)} \right] \tag{7}$$

Учитывая (7) в (4), для дифференциального поперечного сечения стоксовского рассеяния света в синглет-триплетных ферромагнетиках получим:

$$\left(\frac{d^2\delta}{d\Omega\, d\omega_2}\right)_{\text{Ст.}} = \frac{h^*}{2\pi} \cdot F_+ \times \left[ \frac{\langle \alpha^2 S^z + \beta^2 T^z \rangle D_0^2 + \alpha\beta D_0 \langle S^z + T^z \rangle \cdot (E_{10} - (A_0 + B_0))}{(E_{20} - E_{10})\left(\exp\left(-\frac{E_{10}}{\kappa_B T)}\right) - 1\right)} \times \delta(h^* \omega_1 - E_{10} - h^* \omega_2) + \frac{\langle \alpha^2 S^z + \beta^2 T^z \rangle D_0^2 + \alpha\beta D_0 \langle S^z + T^z \rangle \cdot (E_{20} - (A_0 + B_0))}{(E_{10} - E_{20})\left(\exp\left(-\frac{E_{20}}{\kappa_B T}\right) - 1\right)} \times$$

$$\times \delta \left(\hbar \omega_1 - E_{20} - \hbar \omega_2\right) \Bigg], \tag{8}$$

где

$$F_{+} = \frac{2 \cdot N \cdot \omega_1 \cdot \omega_2^3 \cdot \eta_2}{c^4 \cdot V \cdot \eta_1} \cdot \Gamma^2 \cdot \left| e_1^z e_2^+ - e_1^+ e_2^z \right|^2$$

Как видно из (8), спектр стоксовского рассеяния света в синглет-триплетных ферромагнетиках содержит два пика при частотных сдвигах, равных $\frac{E_{10}}{\hbar}$ и $\frac{E_{20}}{\hbar}$. Интегрируя (8) по $\omega_2$, для интегрального сечения стоксовского рассеяния света в синглет-триплетных ферромагнетиках при частоте $\omega_2 = \omega_1 - \frac{E_{10}}{\hbar}$ получим выражение:

$$\left(\frac{d\sigma_1}{d\Omega}\right)_{\text{Ст.}} = \frac{F_+ \cdot S_1}{1 - \exp\left(-\frac{E_{10}}{\kappa_B T}\right)}, \tag{9}$$

а для интегрального сечения стоксовского рассеяния света в синглет-триплетных ферромагнетиках при частоте $\omega_2 = \omega_1 - \frac{E_{20}}{\hbar}$ получается выражение

$$\left(\frac{d\sigma_2}{d\Omega}\right)_{\text{Ст.}} = \frac{F_+ \cdot S_2}{1 - \exp\left(-\frac{E_{20}}{\kappa_B T}\right)}, \tag{10}$$

где

$$S_1 = \frac{\langle \alpha^2 S^z + \beta^2 T^z \rangle \cdot D_0^2 + \alpha\beta \cdot D_0 \langle S^z + T^z \rangle \cdot (E_{10} - (A_0 + B_0))}{E_{10} - E_{20}}$$

$$S_2 = \frac{\langle \alpha^2 S^z + \beta^2 T^z \rangle D_0^2 + \alpha\beta D_0 \langle S^z + T^z \rangle \cdot (E_{20} - (A_0 + B_0))}{E_{20} - E_{10}}$$

Аналогичным образом можно найти выражение для интегрального сечения антистоксовского рассеяния света в синглет-триплетных ферромагнетиках при частоте $\omega_2 = \omega_1 + \frac{E_{10}}{\hbar}$

$$\left(\frac{d\sigma_1}{d\Omega}\right)_{\text{антиСт.}} = \frac{F_- \cdot S_1}{\exp\left(\frac{E_{10}}{\kappa_B T}\right) - 1}, \tag{11}$$

а для интегрального сечения антистоксовского рассеяния света в синглет-триплетных ферромагнетиках при частоте $\omega_2 = \omega_1 + \frac{E_{10}}{\hbar}$ получается выражение:

$$\left(\frac{d\sigma_2}{d\Omega}\right)_{\text{антиСт.}} = \frac{F_- \cdot S_2}{\exp\left(\frac{E_{20}}{\kappa_B T}\right) - 1}, \tag{12}$$

где

$$F_{-} = \frac{2 \cdot N \cdot \omega_1 \cdot \omega_2^3 \eta_2}{c^4 \cdot V \cdot \eta_1} \cdot \Gamma^2 \cdot \left| e_1^z e_2^- - e_1^- e_2^z \right|^2$$



Отметим, что на основе анализа полученных выражений (9(—(12) для спектров стоксовского и антистоксовского рассеяния света на коллективных возбуждениях в синглет-триплетных ферромагнетиках, можно получить более подробную информацию о кристаллическом поле и особенностях коллективных возбуждений в этих системах.

## Литература

1. *Hsieh Y. Y., Blume M.*—Phys. Rev. B., 1972, 6, 2684. 2. *Loudon R.*—J. Phys. C.: Solid. St. phys., 1970, 3, 872. 3. *Сеидов Ю. М., Сулейманов А. М.*—ФНТ, 1976. 2 523.

*Институт физики АН АзССР*

*Поступило 20. XI 1984*

**J. M. Сеjидов, А. М. Сулеjманов**

## СИНГЛЕТ - ТРИПЛЕТ ФЕРРОМАГНИТЛӘРЛӘ ИШЫҒЫН КОМБИНАСИЈА СӘПИЛМӘСИ

Мәгаләдә синглет-триплет ферромагнитләрдә ишығын комбинасиja сәпилмәси нәзәрдән кечирилмишдир. Грин функсиjасы методундан истифадә едиләрәк системлә ишығын стокс вә антистокс сәпилмәсинин ен кәсикләри һесабланмышдыр. Сәпилмә спектрләринин һәр бириндә ики пикин олдуғу мүәjjән едилмишдир.

**Yu. M. Seidov, A. M. Suleimanov**

## LIGHT SCATTERING BY SINGLET-TRIPLET FERROMAGNETS

One magnon (first order) light scattering by singlet-triplet ferromagnets is investigated. We used the multi-time Green's function method. The cross sections of Stokes and anti-Stokes scatterings are evaluated. Two Stokes peaks and two anti-Stokes peaks in the scattered spectrum of the singlet-triplet ferromagnets are elucidated.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 551.509

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ

А. С. МАМЕДОВ

# ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА С ПАРАМЕТРИЗАЦИЕЙ АТМОСФЕРНЫХ ДВИЖЕНИЙ СИНОПТИЧЕСКОГО МАСШТАБА

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Г. А. Алиевым)*

Теоретические основы модели изложены в работе [1]. Здесь мы рассматриваем описание модели по вертикали и интегрирование уравнений по времени.

Рассмотрим исходные формулы в сферических координатах.

1. Уравнение притока тепла.

$$\frac{\partial \overline{T}'}{\partial t}+\frac{u_к}{a\sin\theta}\frac{\partial \overline{T}'}{\partial\lambda}+\frac{v_к}{a}\frac{\partial \overline{T}'}{\partial\theta}=K_{ST}\nabla^2\overline{T}'-\frac{\Gamma_a}{gP_s\tau}K_{\sigma T}\frac{\partial \overline{T}'}{\partial\sigma}+$$
$$+\left(\frac{\rho g}{P_s}\right)^2 K_{\sigma T}\frac{\partial^2\overline{T}'}{\partial\sigma^2}+\frac{\overline{E}+L\overline{r}}{C_p} \qquad (1)$$

2. Уравнение переноса влаги.

$$\frac{\partial \overline{q}'}{\partial t}+\frac{u_к}{a\sin\theta}\frac{\partial \overline{q}'}{\partial\lambda}+\frac{v_к}{a}\frac{\partial \overline{q}'}{\partial\theta}=K_{qT}\nabla^2\overline{q}'+$$
$$+\left(\frac{\rho g}{P_s}\right)^2 K_{\sigma q}\frac{\partial^2\overline{q}'}{\partial\sigma^2}-\overline{r}, \qquad (2)$$

$\overline{T}'$—среднее отклонение температуры воздуха от климатической нормы; $\overline{q}'$—среднее отклонение удельной влажности воздуха от климатической нормы; $u_к$, $v_к$—горизонтальные составляющие скорости в направлении осей $\lambda$ и $\theta$; $\lambda$, $\theta$—долгота и широта места соответственно; $a$—средний радиус Земли; $K_{ST}$, $K_{Sq}$—коэффициент горизонтального макротурбулентного обмена тепла и влаги; $\Gamma_a$—сухоадиабатический градиент температуры; $R$—удельная газовая постоянная для сухого воздуха; $g$—ускорение свободного падения; $P_s$—давление у поверхности Земли; $\sigma=\frac{P}{P_s}$ координата по вертикали; $P$—давление $K_{\sigma T}$, $K_{\sigma q}$—коэффициент вертикального турбулентного обмена тепла и влаги; $\rho$—плотность воздуха; $C_p$—удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении; $\overline{\varepsilon}$—радиционный приток тепла; $L$—удельная теплота конденсации; $\overline{r}$—сток влаги в результате выпадения осадков; индекс $к$—соответствует климатическим величинам;



$$\nabla^2=\frac{1}{a^2}\left[\frac{\partial^2}{\partial\theta^2}+\operatorname{ctg}\theta\frac{\partial}{\partial\theta}+\frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\lambda^2}\right].$$

Вертикальная структура модели показана на рис. 1.

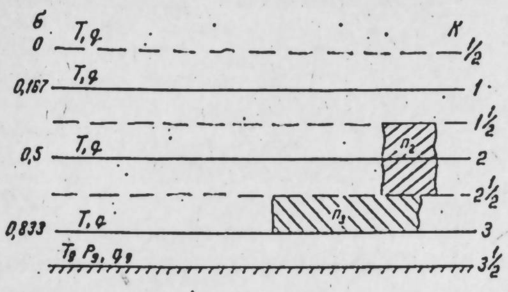



*Рис. 1.* Вертикальная структура модели.

## Граничные условия

1. На верхней границе атмосферы при $\sigma=0$, $\overline{q}'=0$, $H=E=0$ [2];

2. На нижней границе (при $\sigma=1$) $\overline{T}'$, $\overline{q}'$—вычисляется с помощью уравнения теплового баланса для подстилающей поверхности и уравнения баланса влаги. $H$—вертикальный турбулентный поток теп а; $E$—вертикальный турбулентный поток влаги. Облачность определяется по относительной влажности воздуха. В модели она вычисляется для трех ярусов (см. рис. 1). Для верхнего яруса $n_1=0$, а для среднего и нижнего—по формулам:

$$n_2=\alpha\cdot H_2-C$$
$$n_3=\beta\cdot H_3-M,$$

где $n_2$, $n_3$—балл облачности для среднего и нижнего ярусов соответственно: $H_2$, $H_3$—относительная влажность над уровнями $\sigma=500$ и $\sigma=833$ мбар; $\alpha=2{,}0$; $\beta=0{,}44$; $C=0{,}8$; $M=0{,}3$.

Требуемые условия для среднего яруса $0{,}1<n_2<0{,}9$, а для нижнего—$0\leqslant n_3\leqslant 0{,}2$.

Влажность почвы, как и в работе [3], вычисляется по следующей формуле: $\frac{\partial W}{\partial t}=P_0-r_п+S_M$, где $W$ (см)—полная влажность почвы находящаяся в верхнем приповерхностном ее слое; $P_0$—интенсивность осадков в виде дождя, $r_п$—интенсивность испарения; $S_м$—интенсивность таяния снега.

## Интегрирование по времени

Уравнения (1)—(2) интегрируются методом Адамса—Бэшфорда.

$$T^{n+2}=T^{n+1}+\frac{3}{2}\Delta tF_1^{n+1}-\frac{1}{2}\Delta tF_1^{n},$$
$$q^{n+2}=q^{n+1}+\frac{3}{2}\Delta tF_2^{n+1}-\frac{1}{2}\Delta tF_2^{n}.$$

Вначале для применения метода Адамса—Бэшфорда используется метод Эйлера.

$$\left.\begin{aligned}T'&=T^{\circ}+\frac{\partial T^{\circ}}{\partial t}\Delta t,\\ q'&=q^{\circ}+\frac{\partial q^{\circ}}{\partial t}\Delta t.\end{aligned}\right\}$$

где $F_1^{\tau}$ и $F_2^{\tau}$—значения в момент времени для правых частей уравнений (1) и (2) соответственно; $\Delta t$—шаг по времени.

Как и в работе [4], для получения устойчивого решения должно выполняться условие $u \frac{\Delta t}{\Delta s} < 1$. Для выполнения этого условия нами взято $\Delta t = 6$ ч.

С целью подавления временных шумов и для получения среднего момента времени $\bar{u}(t)$ были применены формулы из работы [5]:

$$\bar{u}(t) = u(t) + \frac{1}{2} S\,[u(t + \Delta t) - 2u(t) + u(t - \Delta t)],$$

где $\bar{u}(t)$—фильтрованное значение функции; $S$—параметр фильтра. В работе пространственные производные аппроксимируются с помощью центральных разностей.

## Построение начальных полей для основных метеорологических элементов

Немаловажную роль для успешного прогноза играет выбор исходных полей. С целью выбора исходных данных, близких к фактическим, мы использовали данные ПИГАПа (Программа исследований глобальных атмосферных процессов), находящиеся на магнитных носителях. При выборе климатических данных нами были использованы американские источники на магнитных носителях, находящиеся в ГГО (Главная геофизическая обсерватория).

При восстановлении исходных полей на расчетных уровнях, значения метеорологических элементов над уровнями 167, 500 и 833 мбар интерполированы следующим образом:

$$A_{167} = \frac{2}{3} A_{200} + \frac{1}{3} A_{100};\quad A_{500} = \frac{1}{2}(A_{300} + A_{700});$$

$$A_{833} = \frac{8}{9} A_{850} + \frac{1}{9} A_{700},$$

где $A_{167}$, $A_{500}$, $A_{833}$—отыскиваемые значения метеорологических элементов над уровнями 167, 500, 833 мбар, соответственно.

## Моделирование температуры воздуха и удельной влажности воздуха для февраля

На рис. 2 приведена рассчитанная в модели средняя февральская температура воздуха на поверхности 500 мбар. Из рисунка видно, что температура воздуха на указанной поверхности хорошо согласуется с фактической [6] и общий перепад температуры между экватором и северным полюсом составляет 36°, что на 2—3° больше фактического.

Для южного полушария перепад между экватором и полюсом составляет 32°. В высоких широтах распределение температуры согласуется с фактическим, и отклонение составляет 1—2°, а в субтропиках и в тропиках этот градиент возрастает только до 2—3°.

В л а ж н о с т ь. На рис. 3 приведены распределения удельной влажности над уровнем 500 мбар. Из рисунка видно, что полученное



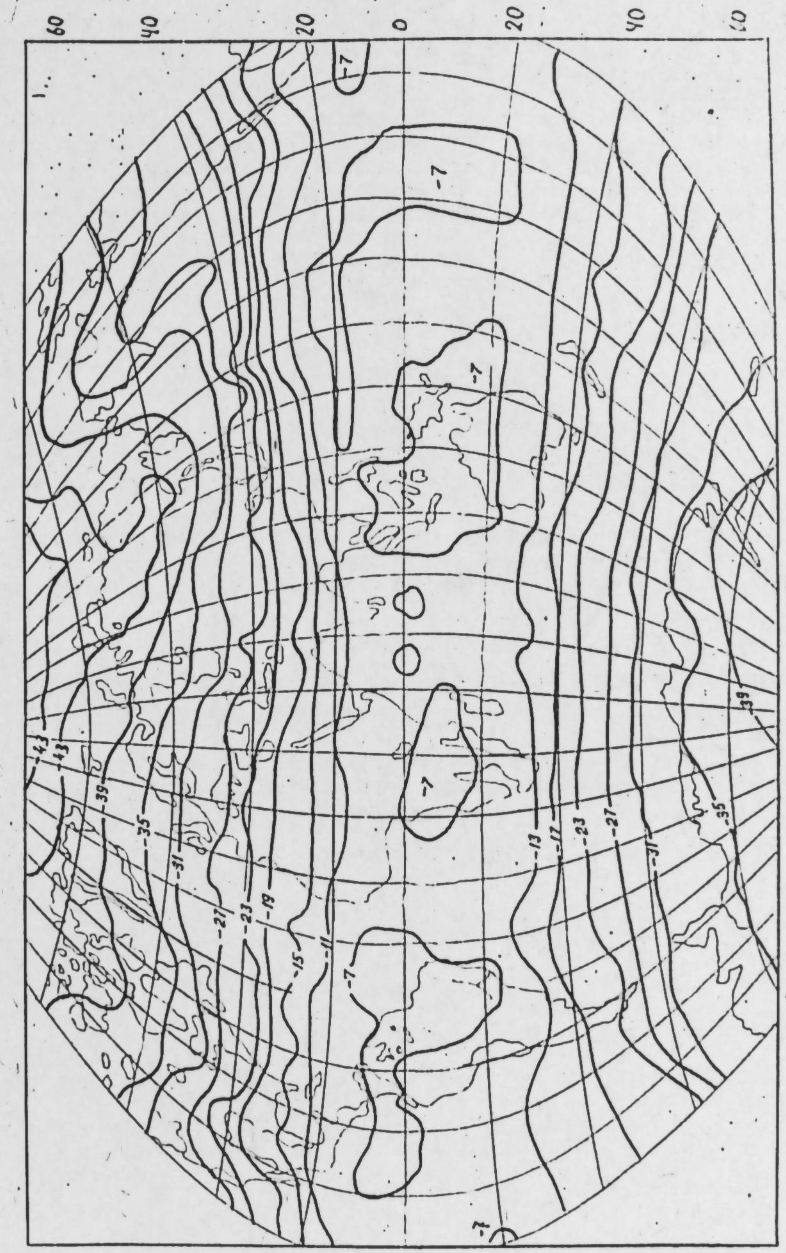



*Рис. 2.* Поле средней температуры воздуха (°C) над уровнем 500 мбар, за февраль

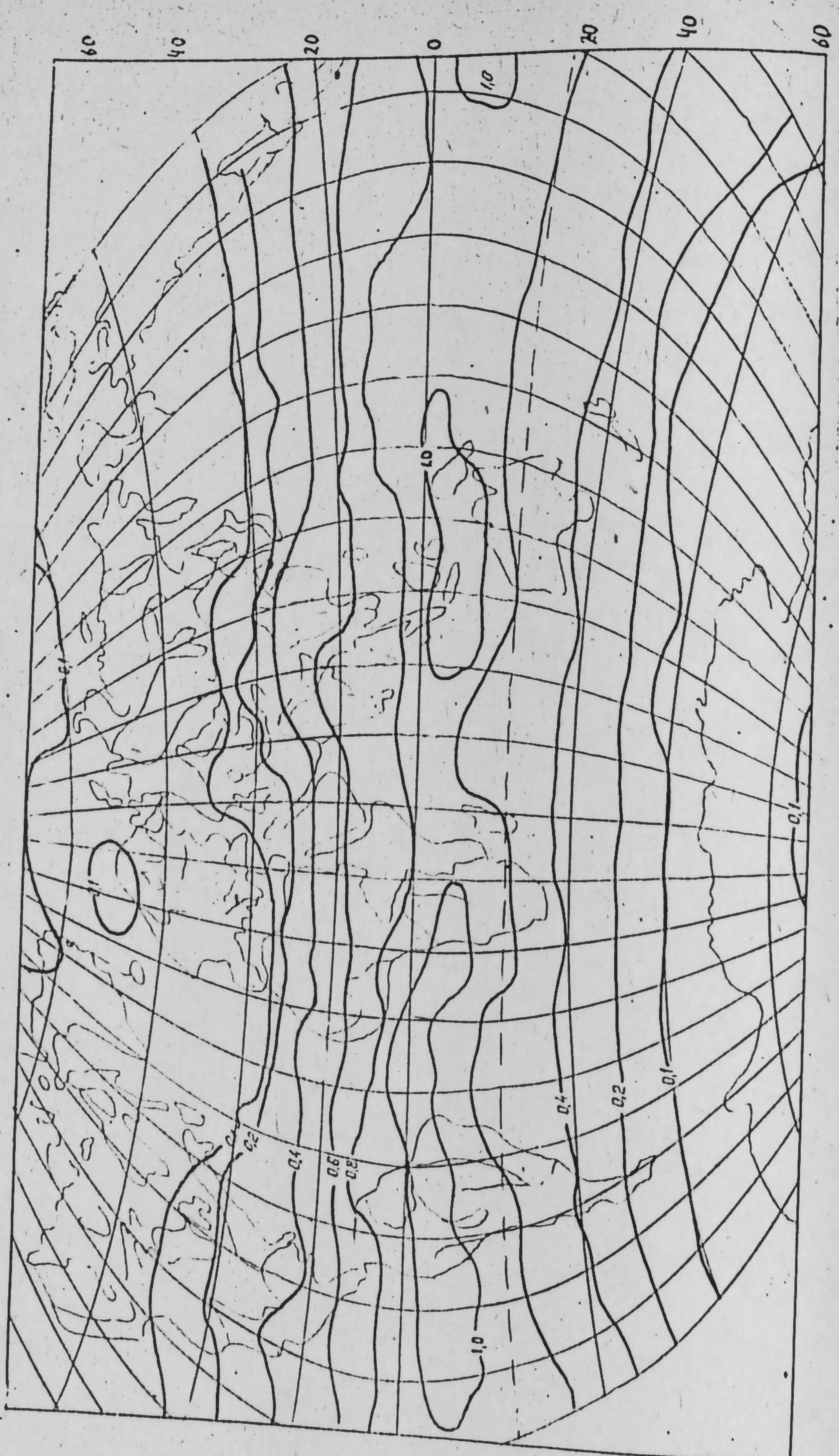



*Рис. 3.* Поле удельной влажности воздуха над уровнем 500 мбар, за февраль.



поле влажности хорошо согласуется с фактическим [7], однако в районе экватора рассчитанное состояние атмосферы несколько влажнее реальной.

### Литература

1. *Мамедов А. С., Руховец Л. В.* — Докл. АН АзССР, т. XXXIX, 1983, № 4. с. 50—53. 2. *Мелешко В. П., Шнееров Б. Е., Швец М. Е., Дмитриева-Арраго Л. Р., Паршина Г. В., Юшина Е. М., Магазенков Л. Н., Богаченко С. В., Шейнин Д. А.* — Труды ГГО, 1980, вып. 410, с. 3—32. 3. *Уорден М., Вашингтон и Давид Л., Вильямсон.* Модели общей циркуляции атмосферы. /Под рук. Ю. Чанга. — М.: Гидрометеоиздат, 1981, с. 152. 4. Численные методы решения задач динамики атмосферы и океана /Перев. и ред. Л. Р. Дмитриевой-Арраго, Л. В. Руховца. Б. Е. Шнеерова. — М.: Гидрометеоиздат, 1968, с. 73—75. 5. Численные методы, используемые в атмосферных моделях /Перев. с англ. В. П. Садакова. — М.: Гидрометеоиздат, 1979, с. 130. 6. Синоптический бюллетень. Северное полушарие, ч. III, февраль 1975 г. 7. Атлас удельной влажности свободной атмосферы над миром / Под ред. И. Г. Гутермана. — М.: Гидрометеоиздат, 1980.

*Институт географии*

*Поступило 15. III. 1984*

Ә. С. Мәммәдов

## СИНОПТИК МАСШТАБДА ҺАВАНЫН ТЕМПЕРАТУРУНУН ПРОГНОЗУНУ ВЕРМӘК ҮЧҮН АТМОСФЕР ҺӘРӘКӘТИНИН ПАРАМЕТРЛӘШДИРИЛМИШ ӘДӘДИ ИНТЕГРАЛЛАМА МОДЕЛИ

Мәгаләдә шәбәкә үсулу илә һаванын орта ајлыг температуру үч һүндүрлүкдә тә'јин едилир. Модел бүтүн Јер күрәси үчүн нәзәрдә тутулур вә феврал ајынын орта ајлыг температурунун пајланмасы вә рүтубәт пајланмасы һаггында мә'лумат верилир.

A. S. Mamedov

## THE NUMERAL MODEL OF PROGNOSIS OF AIR TEMPERATURE WITH PARAMETER OF ATMOSPHERE MOVEMENTS IN SINOPTIC SCALE

The possibility of forecast of air temperature and moisture on 3 levels was shown in this article. The model embraced the whole world. The distribution of air temperature and specific moisture in February was shown in figures.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 577.344+577.354.2

БИОФИЗИКА

А. И. ДЖАФАРОВ, Э. М. КУЛИЕВА, Н. К. НЕЙМАН-ЗАДЕ

# О ВЗАИМОСВЯЗИ ИНТЕНСИВНОСТИ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ С ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ СЕТЧАТОК

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР А. А. Намазовой)*

Установлено, что видимый свет стимулирует образование перекисей липидов в фоторецепторных мембранах сетчатки [1—3]. Показано также, что накопление продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) вызывает подавление электрической активности изолированной сетчатки хладнокровных и теплокровных животных, причем соединения селена, ингибируя ПОЛ, восстанавливают электрическую активность изолированных сетчаток [4—8].

В то же время, несмотря на изложенное, имеющийся фактический материал недостаточен для однозначного решения вопроса о наличии и характере взаимосвязи между ПОЛ и функциональным состоянием сетчатки. Именно в этой связи особый интерес представляет изучение влияния индуцированного ПОЛ на функциональное состояние как изолированной, так и интактной сетчатки в условиях разной световой адаптации, а также возможное изменение этого влияния под действием различных антиоксидантов.

## МЕТОДИКА

Опыты проводились на 100 морских свинках (самцах весом 300—350 г, содержавшихся в стандартных условиях вивария). Световая адаптация достигалась освещением животных или изолированных сетчаток лампой накаливания (600, 900, 1 200 лк, 30 мин). Затем, после выдерживания животных в темноте 30 мин, их забивали через определенные промежутки времени в течение 2—3 ч и определяли содержание малонового диальдегида (МДА) в сетчатках по реакции с тиобарбитуровой кислотой [9].

Влияние антиоксидантов на ПОЛ и функциональную активность сетчатки проводилось как in vivo, так и in vitro.

При проведении экспериментов in vivo животным предварительно за 12—16 ч до забоя вводили однократно антиоксиданты в следующих дозах: α-токоферол — 80—120 мг/кг внутримышечно и органическое соединение селена — хлоргидрат-1-фенилселено-44-фенил-4-гексаметиленимминобутин-2 — 4 мг/кг подкожно.

В опытах на изолированных сетчатках использовали спиртовые растворы α-токоферола (концентрация спирта 0,5%) веществ от $10^{-3}$ до $10^{-5}$ М) и водный раствор соединения селена в концентрациях $10^{-4}$ до $10^{-5}$ М, приготовленные на растворе Рингера.



## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В опытах на животных установлено, что световая адаптация (600 лк) приводит к усилению ПОЛ. Увеличивающееся при световой адаптации содержание МДА достигает максимума и возвращается к норме после перехода к темновой адаптации (рис. 1). Увеличение интенсивности (900, 1 200 лк) вызывает увеличение содержания МДА, причем по мере увеличения интенсивности освещения отмечалось как усиление скорости ПОЛ в сетчатке, так и увеличение времени возвращения к норме при темновой адаптации (рис. 1).

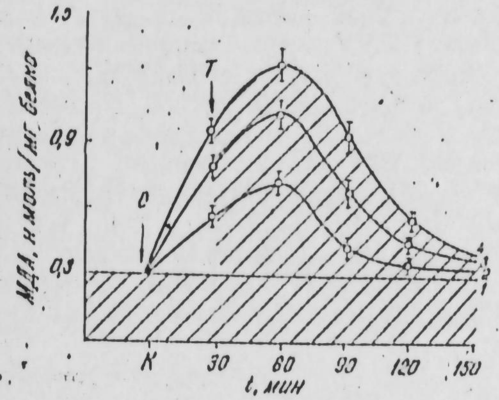



*Рис. 1.* Кинетика изменения содержания МДА в сетчатке морской свинки в зависимости от условий адаптации:
1 — темновая адаптация; 2 — световая (600 лк); 3 — световая (900 лк); 4 — световая (1 200 лк). Заштрихованная область— темновая адаптация

Далее нас интересовало влияние антиоксидантов на регуляцию процесса перекисеобразования в сетчатке при световой адаптации. Предварительное введение животным антиоксидантов (α-токоферола и соединения селена) приводит к изменению скорости ПОЛ в сетчатке. Установлено, что после введения антиоксидантов значительно ускоряется как время достижения максимума, так и время возвращения к норме содержания МДА (рис. 2).

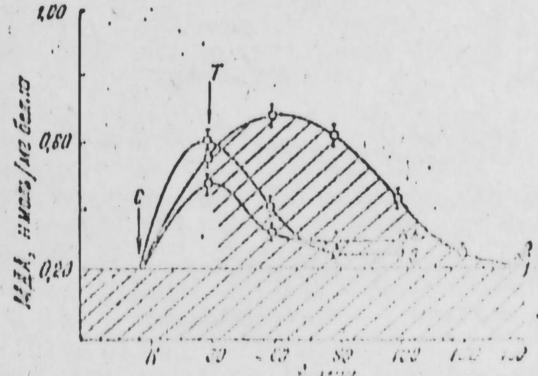



*Рис. 2.* Влияние антиоксидантов на кинетику изменения содержания МДА в сетчатке морской свинки при световой адаптации:
1 — темновая адаптация; 2 — световая адаптация (600 лк); 3 — токоферол + световая адаптация; 4 — хлоргидрат-1-фенилселено-44-фенил-4-гексаметилениминобутин - 2 + световая адаптация. Заштрихованная область— темновая адаптация

Далее была исследована взаимосвязь между интенсивностью ПОЛ и функциональным состоянием изолированной сетчатки. В этой серии опытов сравнивались изолированные сетчатки как сохранившие функциональную активность, так и заведомо ее потерявшие. Потерю функциональной активности вызывали путем выдерживания сетчатки в аноксических условиях.

О функциональной активности судили по регистрации ЭРГ.

Результаты этих опытов показали, что функциональная нагрузка на изолированную сетчатку приводит к усилению ПОЛ. Однако необходимо отметить, что характер изменения ПОЛ в сетчатке, обладающей функциональной активностью, отличается от такового в сетчатке, у которой потеряна функциональная активность. Как видно из рис. 3, в сетчатке в период оптимальной функциональной активности усиление ПОЛ было почти таким, каким оно наблюдалось в интактной сетчатке в целом организме, т. е. световая экспозиция — лампа накаливания — вызвала кратковременное увеличение содержания МДА с последующим неполным возвращением к норме. В отличие от функциональноактивной, в сетчатке, потерявшей активность, световая адаптация также вызвала увеличение ПОЛ, но значительно меньше, чем у интактной сетчатки. Кроме того, здесь при переходе к темновой адаптации не отмечалось тенденции возвращения к норме. Примечателен тот факт, что в сетчатке, предварительно подвергшейся стимуляции железо-аскорбатом ($10^{-5}$ $M$ и 0,8 мМ соответственно в течение 30 мин) при темновой адаптации, последующее освещение также не вызвало заметного усиления ПОЛ.

Введение антиоксидантов в перфузионную жидкость, омывающую изолированные сетчатки, привело так же, как у интактных сетчаток к ускорению достижения в них максимума и возвращению к норме содержания МДА (рис. 3).

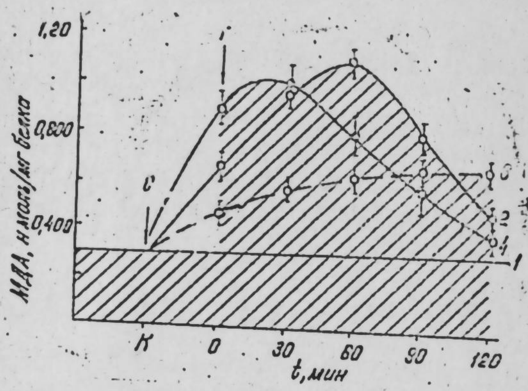



Рис. 3. Кинетика изменения содержания МДА в изолированной сетчатке морской свинки при световой адаптации: 1 — темновая адаптация; 2 — световая адаптация (900 лк); 3 — световая адаптация сетчатки, потерявшей функциональную активность; 4 — при введении хлоргидрид-1-фенилселено-44 - фенил-4-гексаметилениминобутина-2- в перфузионную жидкость. Заштрихованная область — темновая адаптация

Таким образом, изменение функциональной активности сетчатки в условиях световой адаптации как in vivo, так и in vitro сопровождается обратимым усилением ПОЛ. На уровне целого организма усиление ПОЛ в сетчатке при световой адаптации — кратковременно, обратимо и может регулироваться действием антиоксидантов. В изолированной же сетчатке, находящейся в оптимальных условиях переживания, ПОЛ также усиливается, но это усиление развивается достаточно медленно, функциональная активность меняется при этом незначительно. Однако при резком усилении ПОЛ, наступающем, например, при стимуляции железо-аскорбатом, при недостатке кислорода происходит резкое нарушение функциональной активности сетчатки. Причинами, вызывающими снижение функциональной активности при усилении ПОЛ могут быть увеличение проницаемости мембран, подавление активности многих липидзависимых ферментных комплексов, окисление малых тиолов и, наконец, наступающее вследствие этих изменений нарушение структур мембран [10—12]. В условиях целого



организма перечисленные изменения, как правило, не могут иметь место, так как перекиси в целом организме при выполнении им функциональной нагрузки накапливаются лишь в определенных пределах, ограниченных действием многокомпонентных защитных систем. Поэтому стабилизация уровня ПОЛ в сетчатке in vitro, по-видимому, является одним из необходимых условий поддержания ее функциональной активности.

### Литература

1. *Каган В. Е., Шведов А. А., Новиков К. Н., Козлов Ю. П.*—Докл. АН СССР, 1973, т. 210, № 5,1208—1210. 2. *Шведова А. А., Новиков К. Н., Григорьев В. М., Фридман И. И., Каган В. Е., Данилов В. С.. Козлов Ю. П.*—В кн.: Биоантиокислители.—М.: Наука, 1975, т. 52. 3. *Kagan V. E., Schvedova A. A., Novikov K. N., Kozlov Yu. P.*—Biochem. et biophys. acta, 1973, v. 330, № 1. p. 79. 4. *Schvedova A. A., Sidorov A. S., Novikov K. N., Gabuschenko J. V.*—Vis. res.. 1979, v. 19, № 1, p. 49—55. 5. *Кулиева Э. М., Перелыгин В. В. Джафаров А. И.*—Докл. АН АзССР, 1978, т. 34, № 2, 85—89. 6. *Гасанов Г. Г., Кулиева Э. М., Джафаров А. И., Перелыгин В. В.*—Докл. АН АзССР, 1981, т. 37, № 3, 32—35. 7. *Кулиева Э. М.* В кн. Материалы III конф. „Селен в биологии".—Баку: Элм, 1981, 19—23. 8. *Кулиева Э. М., Середа Н. П., Джафаров А. И., Ахмедли Г. Т., Гусейнова Э. С.*—Бюлл. экспер. биол. и мед. 1983, т. 45, № 3, 42—44. 9. *Ottolenghi A.* Arch. biochem. biophys.. 1959, v. 79, № 4, p. 355—363. 10. *Roubal W. T.. Tappel A. L.*—Arch. Biochemistry a. Biophys., 1966, v. 113, № 1, p. 5—8. 11. *Bidlach W. R., Tappel A. L.*—Lipids. 1973, v. 8, № 4. p. 117—182. 12. *Pryor W. A., Stauley A., Blair E.*—Lipids, 1976, v. 11, № 5, p. 370—379.

*Институт физиологии им. А. И. Караева АН АзССР*

*Поступило 27. IX. 1983*

h. И. Чәфәров, Е. М. Гулиjева, Н. К. Неjманзадә

## ЛИПИДЛӘРИН ПЕРЕКИСЛИ ОКСИДЛӘШМӘСИ ИЛӘ ТОРЛУ ГИШАНЫН ФУНКСИОНАЛ АКТИВЛИJИНИН ӘЛАГӘСИ

Торлу гишанын ишыг адаптасиjасы заманы функсионал активлиjинин дәjишмәси һәм mvivo, һәм дә mvitro тәчрүбәләрдә липидләрин перекисли оксидләшмәсинин (ЛПО) дөнәр күчләнмәси илә мүшаjиәт едилир.

Антиоксидантларын тәтбиги ЛПО мәһсулларынын максимума чатма вә нормал һала гаjытма вахтыны гысалдыр.

A. I. Djafarov, E. M. Guliyeva, N. K. Neimanzade

## INTERRELATION BETWEEN LIPID PEROXIDATION OF RETINA AND ITS FUNCTIONAL CONDITIONS

It is determined that the alteration of functional activity of retina in the light adaptation both in vivo and in vitro is accompanied by reversible amplification of lipid peroxidation. Application of antioxidants influences on the decrease of time maximum and return to the norm of keeping of lipid peroxidation products.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ҸИЛД № 8 1985

УДК 547.245

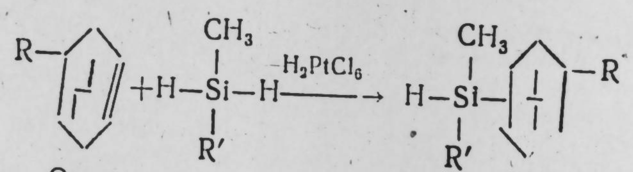
ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Р. А. СУЛТАНОВ, Г. А. САРЫЕВ, Т. Ш. ГАЗАРОВ, Г. К. БАЙРАМОВ

# ЭПОКСИ- И КАРБОМЕТОКСИСИЛАНЫ БИЦИКЛИЧЕСКОГО РЯДА

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Т. Н. Шахтахтинским)*

Полисилоксановые материалы, свойства которых во многом обусловлены низким «барьером» вращения вокруг Si—O—связи и чрезвычайно малыми межмолекулярными силами [1], не могут полностью удовлетворять сегодняшнюю технику. Поэтому поиск путей синтеза новых типов карбо- или гетерофункциональных производных кремния, пригодных для получения полисилоксанов с заранее заданными свойствами, представляется сейчас одной из важнейших задач в химии кремния. В связи с этим, в настоящей работе нами изучена реакция каталитического гидросилилирования эпокси- и карбометоксисодержащих олефинов бициклического ряда, приводящая к реакционноспособным соединениям кремния с выходом до 60%.



R=$CH_2OCH_2CH$—$CH_2$ (O), а R′ i$C_4H_9$ (I), $C_6H_{13}$ (II), $C_7H_{15}$ (III), $C_6H_5$ (IV) $CH_2C_6H_5$ (V), $CH_2CH_2C_6H_5$ (VI), $CH_2CH_2CH_2C_6H_5$ (VII), $CH_2CH(CH_3)C_6H_5$ (VIII);

R=$COOCH_3$, а R′=i$C_4H_9$ (IX), $C_6H_{13}$ (X), $C_7H_{15}$ (XI), $C_6H_5$ (XII), $CH_2C_6H_5$ (XIII), $CH_2CH_2C_6H_5$ (XIV), $CH_2CH_2CH_2C_6H_5$ (XV), $CH_2CH(CH_3)C_6H_5$ (XVI).

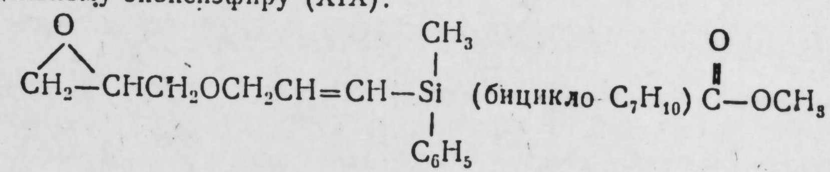
На основании литературных данных [2, 3] можно было предполагать течение реакции как с участием кратной углерод-углеродной связи, так и эпоксидного кольца или карбонильной группы. Однако из спектров ЯМР полученных силанов следует, что изучаемая реакция протекает главным образом в одном направлении. Диорганосилильный радикал присоединяется к атому углерода связи с образованием кремнийсодержащих окисей и эфиров.

Наличие $CH_2$—CH— (O) и —$COOCH_3$ групп в полученных соединениях доказано спектральным путем. В их ИК-спектрах имеются полосы поглощения 855, 910 и 1250 см⁻¹, характерные для эпоксигрупп, а также интенсивный пик при 1730 см$^{-1}$, принадлежащий валентным колебаниям —C(=O)— в фрагменте —C(=O)—$OCH_3$ 4). Связь Si—H характеризуется [5] поглощением 2110 см$^{-1}$.



Изучение свойств соединений (I—XVI) показало, что как эпокси-, так и карбометоксигруппы обладают чрезвычайно высокой реакционной способностью и легко вступают во взаимодействие с алюмогидридом лития, образуя при этом соответствующие кремний-органические спирты (XVII, XVIII), спектры которых содержат широкие полосы ассоциированного гидроксила 3520 см$^{-1}$.

Высокой реакционной способностью обладает и группа Si—H, содержащаяся в молекуле синтезированных соединений кремния. Например, реакция эфира (IX) с пропаргилглицидиловым эфиром, катализируемая платинохлористоводородной кислотой, приводит к непредельному эпоксиэфиру (XIX).



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК-спектры снимали в тонком слое на спектрометре ИR-20 (область 700—2400 см$^{-1}$, призма NaCl) и ИКС-14 (область 2400—3660 см$^{-1}$, призма LiF).

2-г л и ц и д и л о к с и м е т и л б и ц и к л о(2,2,1)г е п т и л - 5-м е т и л и з о б у т и л с и л а н (I). Смесь, состоящую из 18,1 г свежеперегнанного 2-глицидилбицикло(2,2,1)гептена-5 и 10,2 г метилизобутилсилана, кипятили 48 ч в среде сухого бензола в присутствии 0,2 мл раствора платинохлористоводородной кислоты в абсолютном изопропиловом спирте. После отгонки растворителя и невошедших в реакцию компонентов вакуумной перегонкой выделено соединение (I), т. кип. 125—126° (0,5 мм), $n_D^{20}$ 1,4739, $d_4^{20}$, 0,9552, $MR_D$ 83,07, вычислено 83,20. Найдено, %: С 68,18, 68,36; Н 10,56, 10,73; Si 9,82, 10,11. $C_{16}H_{30}O_2Si$. Вычислено, %: С 68,02; Н 10,70; Si 9,94.

Аналогично получены соединения (II—VIII), свойства которых приведены в таблице.

2-карбометоксибицикло(2,2,1)гептил-5-метилизобутилсилан (IX). В колбу с обратным холодильником поместили 15,2 г свежеперегнанного 2-карбометоксибицикло(2,2,1)гептена-5, 10,2 г метилизобутилсилана, 0,1 мл раствора платинохлористоводородной кислоты и 60 мл бензола. Содержимое колбы кипятили в течение 48 ч и после отгонки растворителя вакуумной перегонкой выделено соединение (IX), т. кип. 95—96° (0,5 мм), $n_D^{20}$ 1,4734, $d_4^{20}$ 0,9708, $MR_D$ 73,57, вычислено 74,35, Найдено, %: С 60,19, 60,32; Н 11,18, 11,41; Si 11,12, 11,32. $C_{14}H_{26}O_2Si$. Вычислено, %: С 66,08; Н 10,30; Si 11,04.

Аналогично получены соединения (X—XVI), свойства которых также приведены в таблице.

Свойства эпокси- и карбометоксисодержащих силанов*

| № соед. | Формула | Т. кип., °С (р, 0,5 мм) | $n_Д^{20}$ | $d_4^{20}$ | $MR_D$ найд. | $MR_D$ выч. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| II | $C_{18}H_{34}O_2Si$ | 168—170 | 1,4772 | 0,9511 | 92,31 | 92,46 |
| III | $C_{19}H_{36}O_2Si$ | 176—178 | 1,4729 | 0,9332 | 97,91 | 97,09 |
| IV | $C_{18}H_{26}O_3Si$ | 160—161 | 1,5297 | 1,0532 | 88,66 | 89,17 |
| V | $C_{19}H_{28}O_2Si$ | 176—178 | 1,5303 | 1,0428 | 93,82 | 93,98 |
| VI | $C_{20}H_{28}O_2Si$ | 180—181 | 1,5259 | 1,0311 | 98,38 | 98,23 |
| VII | $C_{21}H_{30}O_2Si$ | 190—191 | 1,5245 | 1,0339 | 102,10 | 102,86 |
| VIII | $C_{21}H_{32}O_2Si$ | 189—190 | 1,5228 | 1,0301 | 102,16 | 102,86 |
| X | $C_{16}H_{32}O_2Si$ | 126—128 | 1,4693 | 0,9523 | 82,68 | 83,61 |
| XI | $C_{17}H_{30}O_2Si$ | 133—135 | 1,4724 | 0,9482 | 87,53 | 88,24 |
| XII | $C_{16}H_{32}O_2Si$ | 134—135 | 1,5297 | 1,0666 | 79,45 | 80,28 |
| XIII | $C_{17}H_{22}O_2Si$ | 141—142 | 1,5246 | 1,0496 | 84,18 | 85,09 |
| XIV | $C_{18}H_{26}O_2Si$ | 151—153 | 1,5248 | 1,0445 | 88,73 | 89,33 |
| XV | $C_{19}H_{28}O_2Si$ | 163—165 | 1,5168 | 1,0286 | 93,05 | 93,96 |
| XVI | $C_{19}H_{28}O_2Si$ | 166—167 | 1,5208 | 1,0306 | 93,48 | 93,96 |

* Найденный элементный состав соответствует вычисленному.

**Взаимодействие эпоксисилана (IV) с алюмогидридом лития.** К эфирному раствору 3,8 г алюмогидрида лития при интенсивном перемешивании и охлаждении медленно приливали 15,1 г эпоксисилана в 40 мл сухого эфира. Реакционную массу перемешивали еще 2 ч при температуре кипения эфира, а затем разложили подкисленной водой. Отделили водный слой от органического и последний сушили над $MgSO_4$. После отгонки растворителя вакуумной перегонкой выделено 13,8 г (91 %) кремнеспирта (XVII). Т. кип. 170—171° (0,5 мм) $n_D^{10}$ 1,5222, $d_4^{20}$ 1,0320, $MR_D$ 90,62, вычислено 91,08. Найдено, %: С 70,86, 71,22; Н 9,09, 9,19; Si 9,11, 9,31. $C_{18}H_{28}O_2Si$. Вычислено, %: С 71,00; Н 9,27; Si 9,22.

Аналогичным способом из 13,2 г эфиросилана (XII) и 3,8 г алюмогидрида лития получен 10,3 г (88 %) кремнеспирта (XVIII). Т. кип. 145° (0,5 мм), $n_D^{20}$ 1,5481, $d_4^{20}$ 1,0445, $MR_D$ 74,95, вычислено 75,43. Найдено, %: С 71,61, 71,86; Н 9,51, 9,32; Si 12,16, 12,31. $C_{14}H_{22}OSi$. Вычислено, %: С 71,73; Н 9,46; Si 11,98.

**Взаимодействие эфиросилана (IX) с пропаргилглицидиловым эфиром.** Реакционную смесь, состоящую из 12,7 г свежеперегнанного эфиросилана (IX), 5,6 г пропаргилглицидилового эфира и 40 мл бензола, содержащего 0,1 мл платинохлористоводородной кислоты, кипятили в колбе с обратным холодильником в течение 11 ч. После обычной обработки и отгонки растворителя вакуумной перегонкой выделено 13,2 г (72 %) эпоксиэфира (XIX) с т. кип. 181—182° (0,5 мм), $n_D^{20}$ 1,4905, $d_4^{20}$ 1,0416, $MR_D$ 101,85, вычислено 102,81. Найдено, %: С 65,41; 65,68; Н 9,18, 9,41; Si 7,51, 7,77. $C_{20}H_{34}O_4Si$. Вычислено, %: С 65,53; Н 9,35; Si 7,66.

## Выводы

Разработан метод получения эпокси-и карбометоксисодержащих силанов бициклического ряда, основанный на реакции каталитического присоединения дигидридов кремния типа $H_2Si(CH_3)·R$ к 2-глицидилоксиметилбицикло (2,2,1) гептену-5 и 2-карбометоксибицикло (2,2,1) гептену-5 в присутствии платиновых катализаторов. Показано, что полученные кремнийорганические окиси и эфиры являются соединениями с высокой реакционной способностью, которые легко вступают во взаимодействие с алюмогидридом лития и пропаргилглицидиловым эфиром с образованием соответствующих производных кремния.



## Литература

1. *Rochow* E. Chem. Silicones.—N. Y.: J. Wiley and Sons, 1951, p. 115. 2. *Альбицкая В. М., Шарикова И. Е., Петров А. А.*—ЖОХ, 34, 2262, 1964. 3. *Лукевиц Э. Я. Воронков М. Г.* Гидросилилирование, гидрогермилирование, гидростаннилирование.— Рига: Изд-во АН Латв. ССР, 1964. 4. *Казицина Л. А., Куплетская Н. Б.* Применение УФ-, ИК-и ЯМР-спектроскопии в органической химии.—М.: Изд-во ВШ, 1971. 5. *Бажант В., Хваловски В. Ратоуски И.*—Силиконы. ГХИ, 1960.

*Сумгаитский филиал АзИНЕФТЕХИМа им. М. Азизбекова*

*Поступило 10. XII. 1982*

Р. А. Султанов, һ. А. Сарыјев, Т. Ш. һәзәров, Г. К. Бајрамов

## БИТСИКЛИК СЫРАЛЫ ЕПОКСИ ВӘ КАРБОМЕТОКСИСИЛАНЛАР

Платин катализаторларынын иштиракилә $H_2Si(CH_3)R$ типли силисиумун диһидридләринин 2-глисидилоксиметилбитсикло (2, 2, 1) һептен-5-ә вә 2-карбометоксибитсикло (2, 2, 1) һептан 5-ә бирләшдирилмәси әсасында епокси вә карбометокси тәркибли битсиклик сырасы силанларын алынмасы үсулу ишләниб һазырланмышдыр.

Көстәрилмишдир ки, алынмыш силисиум үзви оксидләр вә ефирләр јүксәк реаксијаја кирмә габилијјәтинә маликдирләр.

R. A. Sultanov, G. A. Saryev, T. Sh. Gazarov, G. K. Bairamov

## EPOXY- AND CARBOMETHOXYSILANES OF BICYCLIC SERIES

A method for preparation of epoxy- and carbomethoxy-containing silanes is developed. It is based on the catalytic addition reaction of silicon dihydrides of $CH_3(R)SiH_2$ type to 2-glycidiloxymethyl bicyclo (2.2.1) heptene-5 and 2-carbomethoxybicyclo (2.2.1) heptene-5 in the presence of platinum catalysts. It is shown that organo-silicon oxides and esters are compounds with high reactivity. They readily interact with lithium aluminium hydride and propargylglycidil ether giving corresponding silicon derivatives.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 542.952.537

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

С. Э. МАМЕДОВ, Э. И. АХМЕДОВ, А. А. САРЫДЖАНОВ, Х. М. АЛИЕВА, А. Ф. АМИНБЕКОВ

# ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОТНЫХ И КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕОЛИТОВ С ОБМЕННЫМИ КАТИОНАМИ В АЛКИЛИРОВАНИИ ТОЛУОЛА МЕТИЛОВЫМ СПИРТОМ

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР С. Д. Мехтиевым)*

Природа и концентрация катиона существенно влияют на активность и селективность цеолитных катализаторов в реакциях углеводородов, протекающих по карбоний-ионному механизму [1—3]. Однако в литературе отсутствуют данные о влиянии природы и концентрации различных катионов на каталическую активность цеолитного катализатора и ее связь с кислотностью в реакции алкилирования ароматических углеводородов метиловым спиртом.

Цель настоящей работы — изучение влияния природы и концентрации катионов на каталитическую активность и установление корреляции между каталитическими и кислотными свойствами цеолитного катализатора в реакции алкилирования толуола метиловым спиртом.

Образцы цеолитных катализаторов *2* и *3* получали 6-кратной обработкой исходного цеолита NaJ с силикатным модулем 5 (обр.*1*) 2%-ным растворами $Ca\,Cl_2$ и $Pr\,(NO_3)_3$ с соответственно, обр. *4* и *5* — однократной и четырехкратной обработкой 2%-ным раствором $NH_4Cl$, обр. 6—6-кратной обработкой $NH_4Cl$ с промежуточным прокаливанием при 400 °С после третьей обработки.

Алкилирование толуола метиловым спиртом проводили на проточной установке с загрузкой 4 $см^3$ катализатора при 230—300°С мольном отношении $C_7H_8$:$CH_3OH$, равном 2 и объ. ск. 1 $ч^{-1}$. Анализ продуктов реакции осуществляли по методике [3].

Определение спектра кислотных центров на поверхности катализаторов проводили методом высокотемпературной адсорбции аммиака [4]. Данные о кислотности цеолитных катализаторов, полученные методом высокотемпературной адсорбции аммиака, приведены в табл. 1.

В табл. 2 показано влияние природы и концентрации катионов в реакции алкилирования толуола метиловым спиртом. Из таблицы видно, что в приведенных условиях алкилирование на Na-форме цеолита практически не протекает. Замещение катионов натрия в цеолите (обр. *1*) на катионы кальция (обр. *2*) несколько увеличивает его активность. В отличие от катиона кальция замещение катионов натрия в цеолите на катионы неодима (обр. *3*) и водорода (обр. *4—6*) приводит к заметному возрастанию его активности. При этом катализаторы (обр. *3, 5, 6*) по сравнению с остальными проявляют более высокую



Таблица 1

**Кислотность (ммоль/г) цеолитных катализаторов при разных температурах**

| № образца | Катализатор | Степень обмена $Na^+$ на $H^+$ или $Me^{n+}$, экв. % | Кислотность, ммоль/г | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 300° | 400° | 500° |
| 2 | CaNaУ | 86 | 0,26 | 0,01 | — |
| 3 | PrNaУ | 81 | 0,25 | 0,055 | 0,045 |
| 4 | HNaУ | 30 | 0,18 | 0,035 | 0,04 |
| 5 | HNaУ | 71 | 0,23 | 0,075 | 0,055 |
| 6 | HNaУ | 97 | 0,27 | 0,088 | 0,06 |

Таблица 2

**Влияние природы и концентрации катионов на активность цеолитного катализатора в реакции алкилирования толуола метиловым спиртом $V = 1$ $час^{-1}$, $C_7H_8/CH_3OH = 2$**

| № образца | Т-ра, °С | Выход продуктов реакции, масс. % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | бензол | *м*-ксилол | *п*-ксилол | *о*-ксилол | Σ триметилбензолы |
| 1 | 250 | — | 0,1 | 0,3 | 0,7 | — |
| | 300 | — | 0,3 | 0,6 | 1,1 | — |
| 2 | 250 | — | 0,9 | 1,1 | 2,0 | — |
| | 300 | 0,7 | 1,5 | 1,8 | 2,9 | — |
| 3 | 230 | 3,2 | 4,4 | 2,0 | 1,7 | 1,0 |
| | 280 | 5,4 | 7,4 | 2,7 | 2,4 | 1,7 |
| 4 | 230 | 2,9 | 4,1 | 1,8 | 1,5 | 0,9 |
| | 280 | 4,9 | 6,8 | 2,4 | 2,2 | 1,5 |
| 5 | 230 | 4,1 | 4,9 | 2,2 | 1,9 | 1,1 |
| | 260 | 6,3 | 7,1 | 2,5 | 2,2 | 1,8 |
| 6 | 230 | 5,3 | 6,2 | 2,7 | 2,3 | 2,1 |
| | 260 | 8,8 | 8,5 | 5,1 | 3,9 | 4,2 |

активность в образовании ксилолов.

Различие в активности цеолитных катализаторов можно объяснить изменением кислотности при введении в его состав различных катионов (табл.1).

Цеолит NaJ не обладает протонной кислотностью, что делает его неактивным в алкилировании толуола метиловым спиртом.

Замещение катионов (обр. 1) на катионы кальция (обр. 2) приводит к появлению средних (десорбция $NH_3$ при 300 °С), незначительно сильных кислотных центров (десорбция $NH_3$ при 400°С) и каталитической активности у цеолита.

Замещение катионов натрия на катионы неодима (обр. *3*) и водорода (обр.*4—6*) увеличивает количество сильных кислотных центров (десорбция $NH_3$ при 500 °С), что способствует более энергичному протеканию реакции алкилирования толуола метиловым спиртом на этих образцах.

Сравнение данных табл. 1 и 2 показывает, что при практически одинаковых средних кислотных центрах алкилирование на образцах *(3, 5, 6)*, обладающих сильными и очень сильными кислотными центрами, протекает более энергично, чем на обр. 2.

Таким образом, сопоставление спектра кислотности с активностью цеолитных катализаторов показывает, что ответственными за реакцию низкотемпературного алкилирования толуола метиловым спиртом являются сильные и очень сильные кислотные центры, с которых аммиак удаляется при 400 °С и выше.


### Литература

1. Миначев Х. М., Исаков Я. И. Металлосодержащие цеолиты в катализе.— М.: Изд-во Наука, 1976. 2. Дадашев Б. А., Мамедов С. Э.— Азерб. хим. ж., № 5, 53, 1979. 3. Дадашев Б. А., Мамедов С. Э., Арыджанов А. А., Мамедова С. М., Джавадова К. Г.— Нефтехимия, т. XX, № 5, 655, 1980. 4. Новалихина М. Д., Романовский Б. В., Топчиева К. В.— Кинетика и катализ № 5. 1340, 1972.


АГУ им. С. М. Кирова

Поступило 17. III. 1983

С. Ә. Мәммәдов, Е. И. Әһмәдов, А. А. Сәричанов, Х. М. Әлијева, Ә. Ф. Әминбәјов

### КАТИОНЛАРЛА МҮБАДИЛӘ ОЛУНМУШ СЕОЛИТЛӘРИН ТУРШУЛУҒУНУН ВӘ КАТАЛИТИК ХАССӘЛӘРИНИН ТОЛУОЛУН МЕТИЛ СПИРТИЛӘ АЛКИЛЛӘШМӘ РЕАКСИЈАСЫНДА ТӘДГИГИ


Толуолун метил спиртилә алкилләшмә реаксијасында сеолит катализаторунун туршулуғу вә каталитик хассәләринә катионларын тәбиәти вә мигдарынын тә'сири өјрәнилмишдир.

Көстәрилмишдир ки, натриум катионунун, прозедиум вә һидрокен катионлары илә мүбадилә олунма дәрәчәси чохалдыгча, сеолит катализаторунун активлији артыр.

Мүәјјәнләшдирилмишдир ки, толуолун метил спиртилә алкилләшмәси реаксијасынын ашағы температурда кетмәсинә сәбәб күчлү туршу мәркәзләридир. Белә мәркәзләрдә аммонјак 400° вә ондан јухары температурларда кәнар олунур.


S. E. Mamedov, E. I. Akhmedov, A. A. Sarijanov, H. M. Alieva, A. F. Aminbekov

### STUDIES OF ACID AND CATALYTIC PROPERTIES OF ZEOLITES WITH EXCHANGED CATIONS IN ALKYLATION OF TOLUENE BY METHANOL


The effect of nature and concentration of cations on catalytic and acid properties of zeolite catalyst in alkylation reaction of toluene by methanol is studied.

It is shown that activity of zeolite catalyst increases with increase of exchange degree of sodium cations by praseodymium and hydrogen cations.

It is established that strong acid centres, from which ammonia is removed at 400°C and higher temperatures, are responsible for low temperature alkylation reaction of toluene by methanol.


---


АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 541.128.13.


ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Э. А. МАМЕДОВ, чл.-корр. Р. Г. РИЗАЕВ

# О СТАЦИОНАРНОМ СОСТОЯНИИ КАТАЛИЗАТОРА В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ РЕАКЦИИ

Знание процессов формирования стационарного состояния катализатора существенно облегчает выбор оптимального режима проведения реакции и управления им. Обычно для этих целей используют импульсный метод [1—3], позволяющий получить ценную информацию о влиянии реакционной смеси на катализатор и соответствующем изменении его активности. Однако возможны случаи [2], когда стационарное состояние контакта в импульсном режиме отличается от такового в динамическом — наиболее распространенном варианте осуществления каталитической реакции. Исходя из этого, в настоящем сообщении на примере реакции окислительной дегидродимеризации пропилена в диаллил предпринята попытка изучения весовым методом стационарного состояния оксидного висмутооловянного катализатора в проточной системе и сопоставления полученных данных с опубликованными ранее результатами импульсных измерений [3].

В работе использовали катализатор состава Bi/Sn = 1, представляющий собой соединение $Bi_2Sn_2O_7$ с небольшими примесями оксидов висмута и олова. Методика приготовления его описана в [3]. Измерение активности и веса катализатора в процессе реакции проводили в проточной установке с использованием микровесов системы «RG Cahn Electrobalance» в условиях максимально приближенных к условиям импульсных измерений [3]. В этой же установке осуществляли температурно-программированное реокисление (ТПР) восстановленного катализатора кислородом с записью изменения веса образца в дифференциальной форме. Рентгеновские фотоэлектронные спектры (РФЭС) снимали на приборе (Physical Electronics» с магниевым рентгеновским излучением. Абсолютные значения энергии связи электронов, входящих в состав катализатора элементов определяли относительно примесной линии С 1s с точностью ± 0,2 эв.

Перед измерениями катализатор обрабатывали при 723 К смесью кислорода и сверхчистого азота в течение нескольких часов до постоянства его веса. Это состояние образца принимали за окисленное. Затем пропускали через слой катализатора пропилен — кислородную смесь и регистрировали изменение его веса во времени. Типичные данные приведены на рис. 1, из которого видно, что при проведении каталитической реакции имеет место уменьшение веса контакта за счет процесса восстановления *. Разница веса катализатора в окисленном и стационарном (неизменный вес и постоянная активность) состояниях равна 0,107 мг, что эквивалентно 0,89 монослоя. Эта степень восстановления поверхности катализатора близка к полученной ранее в тех же условиях импульсным методом [3].

* Специальными опытами установлено отсутствие заметного коксоотложения на поверхности катализатора в процессе реакции.

В процессе установления стационарного состояния изменений фазового состава катализатора не обнаружено. Заметно меняется под воздействием реакционной смеси поверхность контакта. Это видно из приведенных в таблице параметров РФЭ-спекторов окисленного и стационарного образцов, согласно которым для последнего наблюдается отрицательный сдвиг полос висмута.

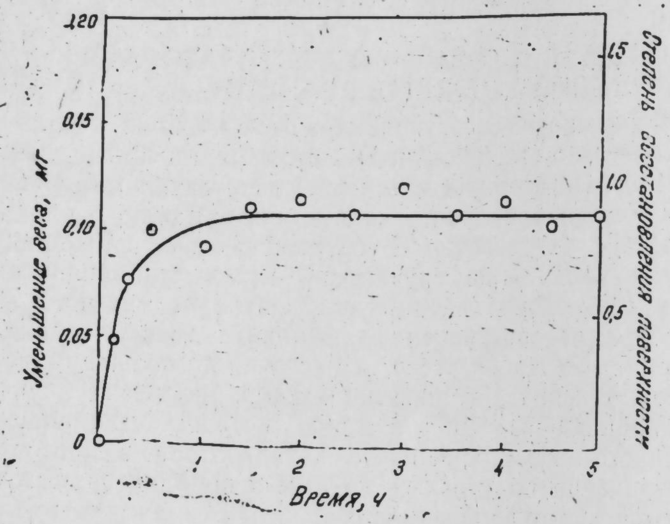



*Рис. 1.* Уменьшение веса висмутоловянного катализатора при протекании реакции окислительной дегидродимеризации пропилена при 723 К

Характеристика РФЭ-спектров висмутоловянных оксидных катализаторов и стандартов

| Образец | Энергия связи, эв | | | | ПШПВ*, эв | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bi $4f_{7/2}$ | Bi $4f_{5/2}$ | Sn $3d_{5/2}$ | Sn $3d_{3/2}$ | Bi $4f_{7/2}$ | Bi $4f_{5/2}$ | Sn $3d_{5/2}$ | Sn $3d_{3/2}$ |
| $Bi_2O_2$ | 159,6 | 164,9 | — | — | 4,3 | 3,9 | — | — |
| Bi—Sn—O окисленный | 160,2 | 165,5 | 487,2 | 495,5 | 4,7 | 4,4 | 4,1 | 3,9 |
| Bi—Sn—O стационарный | 159,2 | 164,3 | 487,2 | 495,8 | 3,9 | 3,5 | 3,7 | 3,4 |
| Bi металл | 157,0 | 162,1 | — | — | 3,1 | 3,0 | — | — |
| $SnO_2$ | — | — | 486,8 | 495,1 | — | — | 3,0 | 2,8 |
| SnO | — | — | 486,8 | 495,1 | — | — | 3,0 | 2,8 |
| Sn металл | — | — | 485,4 | 493,5 | — | — | 2,9 | 2,7 |

*ПШПВ — полная ширина на половине высоты.

Энергии связи электронов висмута стационарного образца по сравнению с окисленным меньше на 1,0—1,2 эв и лежит в интервале величин, соответствующих нуль-и трехвалентному висмуту. Одновременно наблюдается сужение линий РФЭ-спектров. Очевидно, в процессе формирования стационарного состояния в приповерхностных слоях контакта происходит восстановление висмута до более низких степеней окисления по сравнению с исходной. Точное определение валентного состояния затруднительно из-за отсутствия стабильных оксидных соединений двух- и одновалентного висмута, необходимых в качестве стандартов сравнения. К тому же в литературе отсутствуют данные РФЭС о зависимости энергии связи Bi $4f$ от степени окисления



иона в ряду соединений с близкими по характеру связи лигандами. Предположительно линии катионов висмута стационарного катализатора можно приписать $Bi^{2+}$, исходя из того, что при таком отнесении энергия связи Bi $4f_{7/2}$ будет линейно зависеть от степени окисления висмута. Такие зависимости химического сдвига от степени окисления характерны для ряда элементов [4,5].

Энергии связи электронов олова окисленного и стационарного образцов катализатора практически не различаются и близки к энергиям связи олова в $SnO_2$ и SnO (табл. 1). Ясно, что в стационарных условиях реакции не имеет место переход $Sn^{4+}$—$Sn^0$. На вопрос о возможности присутствия $Sn^{2+}$ на поверхности стационарного контакта не позволяет однозначно ответить абсолютное совпадение параметров РФЭ-спектров четырех- и двухвалентного слова, что согласуется с данными [6].

При восстановлении катализатора пропиленом в более жестких условиях, результаты которого изложены в [7], в объеме появляются металлический висмут и диоксид олова и не обнаруживается образование SnO. На поверхности же оба элемента находятся в нульвалентном состоянии. В работе [8] установлено также, что при 773 К оксид висмута восстанавливается пропиленом до металла, в то время как в случае диоксида олова в тех же условиях удается восстановить лишь один монослой. Эти данные показывают, что катионы олова более устойчивы по отношению к восстановлению пропиленом.

Суммируя изложенные результаты с данными [3], можно заключить, что в изученных условиях динамического и импульсного режимов реакции стационарные состояния висмутоловянного катализатора близки. Они характеризуются практически одинаковой степенью восстановленности, составляющей 0,8—0,9 монослоя, и присутствия на поверхности равноценного кислорода с относительно высокой энергией связи 360—30 кДж/моль [3]. При этом, по-видимому, преимущественно восстановлены катионы висмута.

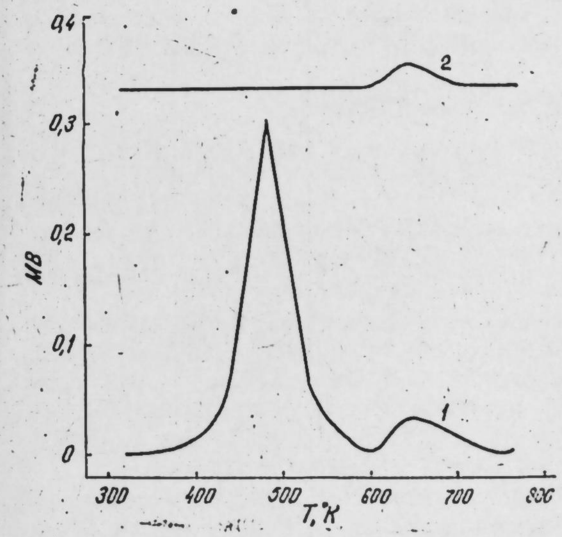



*Рис. 2.* Кривые температурно-программированного реокисления, восстановленного до степени 3 масс. % (*1*) и стационарного (*2*) образцов висмутоловянного катализатора

Отсутствие на поверхности стационарного катализатора слабосвязанного кислорода подтверждается данными ТПР, приведенными на рис. 2. Окисление кислородом висмутоловянного катализатора, предварительно восстановленного пропиленом до степени восстановления 3 мас.%, показывает наличие двух форм кислорода — прочносвязанной и слабосвязанной. Первая из них образуется в низкотемпературной области 450 — 475 К с энергией активации 97±8 кДж/моль, а вторая — при более высоких температурах 645 — 675 К и имеет энергию активации 189±4 кДж/моль. Кривая ТПР доведенного до стационарного в каталитической реакции состояния и быстро охлажденного в инертной атмосфере катализатора характеризуется наличием только высокотемпературного пика (рис. 2, кр. *2*). По-видимому, это и есть тот самый слабосвязанный кислород, который легко удаляется с поверхности катализатора при протекании реакции оксидегидродимеризации пропилена и практически отсутствует в стационарных условиях.

### Литература


1. *Шукин В. П., Веньяминов С. А., Боресков Г. К.*—Кинетика и катализ, 1971, т. 12, с, 621. 2. *Киперман С. Л.*, Кинетика и катализ, 1972, т. 13, с 625 3. *Mamedov E. A., Gamid-Zade E. G., Pankratiev Yu. D., Kuliev A. R., Rizaev R. G.*—React. Kinet. Catal. Lett., 1979, v. 10, p. 19. 4. *Бейкер А., Беттеридж Д.* Фотоэлектронная спектроскопия.—М.: Мир, 1975, с. 124. 5. *Миначев Х. М., Антошин Г. В., Шпиро Е. С.*—Усп. химии, 1978, т. 47, с. 2097. 6. Handbook of X-Ray Photoelectron Spectroscopy.—Minnesota: Perkin—Elmer Corp., 1979. 7. *Mamedov E. A., Keulks G. W., Ruszala F. A.*—J. Catalysis. 1981, v. 70, p. 241. 8. *Aso T. Nakao M., Yamazoe M., Seiyama T.* —J. Catalysis, 1979, v. 57, p. 287.



*Институт нефтехимических процессов АН АзССР*



*Поступило 11. X. 1983*



Е. Ә. Мәммәдов, Р. Һ. Ризаjев


## РЕАКСИЈАНЫН ДИНАМИК РЕЖИМИНДӘ КАТАЛИЗАТОРУН СТАСИОНАР ҺАЛЫ ҺАГГЫНДА


Чәки үсулу илә көстәрилмишдир ки, ахымлы режимдә пропиленин оксидләшдиричи деһидродимерләшмә реаксијасы кедән заман бисмутгалај оксид катализатору редуксија олунур. Бу заман карбоһидрокенин дәрин оксидләшмәсинә сәбәб олан зәиф әлагәли оксикен сәтһдән кәнар едилир. Стасионар һалда, 723 К-дә редуксија дәрәчәси 0,8—0,9 монотәбәгәјә чатыр. РФЕС гијмәтләринә көрә әсасән бисмут икивалентли һалына гәдәр редуксија олунур.



E. A. Mamedov, R. G. Rizayev


## ON THE STEADY STATE OF CATALYST IN THE REACTION DYNAMIC REGIME


Gravimetric studies show that the reduction of bismuth-tin oxide catalyst takes place during oxidative dehydrodimerization of propylene carried out in flow system. The extent of reduction in the steady state corresponds to 0.8—0.9 of monolayer at 723 K.

According to XPS data bismuth cations on the catalyst surface are mainly reduced to two-valent state.



АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 547.391.3:261


НЕФТЕХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ


ОБАМИ АЛЬФОНС, С. И. МЕХТИЕВ, П. Д. ШИХАЛИЗАДЕ, Ю. Д. САФАРОВ


# ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ β-ОКСИИЗОПРОПИЛИРОВАНИЯ α, β-НЕНАСЫЩЕННЫХ КИСЛОТ

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Т. Н. Шахтахтинским)*

Большой практический интерес представляют реакции α-оксиалкенов с органическими кислотами (β-оксиалкилирования), которые часто проводятся в присутствии щелочных катализаторов [1].

В последнее десятилетие также встречаются работы по синтезу отдельных мономеров β-оксиэтиловых эфиров акриловой и метакриловой кислот [2, 3].

Практическая ценность рассматриваемых реакций объясняется тем, что полученные оксиалкилакрилаты являются сырьем для получения растворителей, эмульгаторов, детергентов, новых видов моющих веществ и т. д. [4, 5].

В литературе отсутствуют сведения о синтезе мономеров β-оксиизопропиловых эфиров акриловой и метакриловой кислот. Это диктует необходимость изучения реакции окиси пропилена с акриловой и метакриловой кислотами, так как наличие β-оксиизопропильной группы в указанных кислотах может изменить их физико-химические свойства.

Цель настоящей работы — исследование реакции β-оксиизопропилирования акриловой и метакриловой кислот как без катализатора, так и в присутствии различных катализаторов основного характера и растворителей.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения экспериментов использовали свежеперегнанные акриловую и метакриловую кислоты и окись пропилена. Перегонку проводили в присутствии гидрохинона в количестве 0,1÷0,2% от массы исходных кислот и окиси пропилена.

В качестве катализаторов использовались: диэтиламин, пиридин и трет-этиламин в количестве 0,5÷3,0% от массы исходной кислоты, а как растворители — бензол, толуол и диэтилкетон.

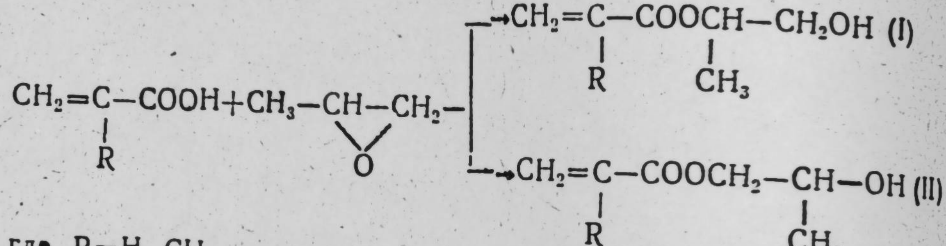
Опыты проводились в автоклаве качающегося типа, емкостью 1 л при молярных соотношениях кислот к окиси пропилена — 1:1÷2:1, температуре в интервале 50÷150 °С, длительности — 1 — 8 ч.

По окончании опыта и охлаждении автоклава реакционная смесь после отфильтровывания подвергалась атмосферной перегонке при 30—40 °С для удаления окиси пропилена. Оставшийся продукт подвергался вакуумной перегонке для выделения непрореагировавшей кислоты, растворителя и целевых продуктов—β-оксиизопропиловых эфиров акриловой или метакриловой кислот.

Далее нами изучено влияние отдельных параметров (температуры, молярного соотношения исходных реагентов, времени реакции природы катализаторов и растворителей) на ход реакции β-оксиизопропилирования акриловой или метакриловой кислот.

## Обсуждение результатов исследования реакции β-оксиизопропилирования акриловой и метакриловой кислот

При взаимодействии окиси пропилена с акриловой или метакриловой кислотами образуются β-оксиизопропил-акрилат и метакрилат, у которых гидроксильная группа находится в первичных (I) и вторичных (II) углородах.




где, R=H, $CH_3$

В результате проведенных исследований установлено, что в присутствии наилучших катализатора-трет-этиламина, растворителя бензола и избытка исходных кислот (молярное соотношение кислоты: окисью пропилена — 1,5:1), основным продуктом реакции является β-оксиизопропилакрилат (I) (рис. 1).

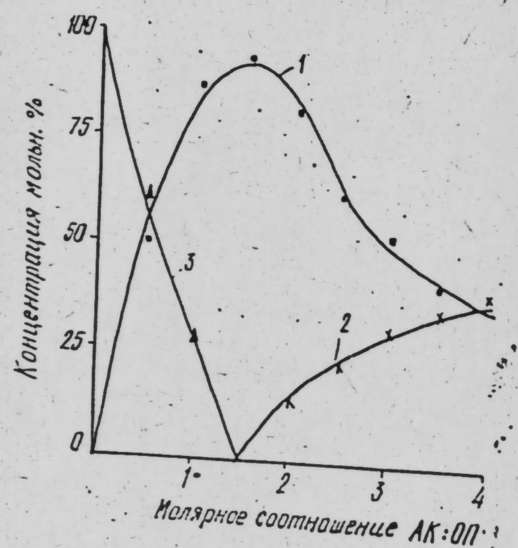



*Рис. 1.* Кривые зависимости состава продуктов реакции β-оксиизопропилирования акриловой кислоты от соотношения реагентов: *1* — β-оксиизопропилакрилат; *2* — β-оксидиизопропилакрилат; *3* — акриловая кислота

Как видно из рисунка, при применении избытка окиси пропилена (молярное соотношение кислоты: окисью пропилена — 1:2÷1:4), реакция изменяет свое направление в сторону образования побочных продуктов — β-оксидиизопропилакрилата и -метакрилата.

Результаты опытов показывают, что при 110 °C в случае взаимодействия окиси пропилена с акриловой кислотой за 3 ч в присутствии катализатора трет-этиламина степень завершенности составляет 94%, в то



время как без использования катализатора при 120 °C за 8 ч проведения реакции, она равна 35% (рис. 2).

Из рисунка видно, что в присутствии катализатора — пиридина степень завершенности реакции равна 91% и может быть достигнута за 3 ч лишь при проведении реакции при 110 °C, а при такой же температуре в присутствии катализатора — диэтиламина за 6 ч протекания реакции она составляет лишь 56%.

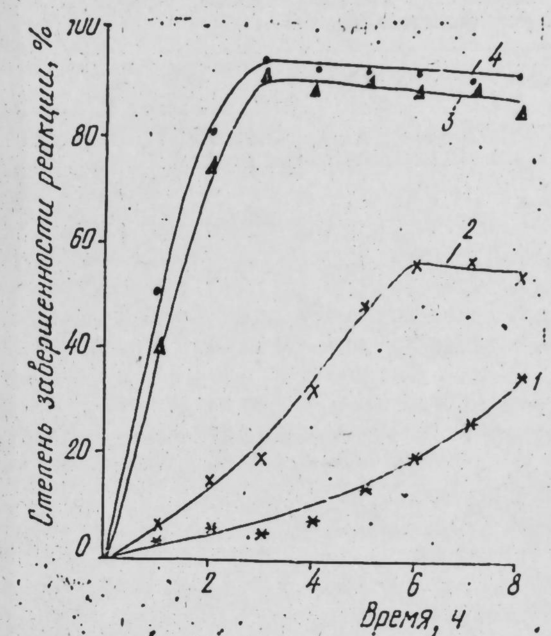



*Рис. 2.* Кривые изменения степени завершенности реакции β-оксиизопропилирования метакриловой кислоты от продолжительности: *1* — без катализатора при 120°; с катализатором при 110° С; *2* — диэтиламином; *3* — пиридином; *4* — трет-этиламином

Таким образом из приведенных данных видно, что синтез β-оксиизопропилакрилата и -метакрилата, содержащих в цепи свободные гидроксильные группы, целесообразно проводить в одну стадию в присутствии катализатора — пиридина или трет-этиламина в интервале температур (100—120 °C) и при молярных соотношениях кислоты: окиси пропилена 1,5÷2:1 в среде растворителя бензола, это позволяет достичь достаточно высокую степень завершенности реакции.

**Продукт реакции — β-оксиизопропилакрилат и -метакрилат анализировались методом ИК-спектроскопии. Спектры снимались на спектрометре NR-20 с призмами NaF в области 400—4000 см$^{-1}$. В спектре отмечены полосы сложноэфирной группы: 605, 1030, 1170,** ($\nu C{-}O$), 1730 см$^{-1}$ ($\nu C{=}O$) и $\underset{|}{C}H{-}\underset{|\atop CH_3}{CH_2}$-группы метакрилового скелета, 690, 1510, 1190, 1020, 910 см$^{-1}$, присоединение к $COO^-$:815, 1070, 1215, 1240, 1310, 1425 см$^{-1}$. На них частично ложатся полосы $CH_2{=}\underset{|\atop CH_3}{C}{-}$, $CH_2{=}CH{=}$ группы олефинового фрагмента к этому фрагменту $CH_2{=}\underset{|\atop R}{C}{-}COO{-}$ относятся и полосы $CH_2{=}\underset{|\atop R}{C}$-группировки (710, 930, 1110, 1300, 1620 $см^{-1}$). От присутствия $\nu C=C$ в области 1600—1700 $см^{-1}$ и в OH в области 3480—3510 $см^{-1}$ говорится о том, что продукт реакции -β-оксиизопропилакрилат или -метакрилат является индивидуально чистым.

Некоторые физико-химические константы полученного β-оксиизопропилакрилата или—метакрилата представлены в таблице.

**Некоторые физико-химические константы β-оксиизопропиловых эфиров акриловой или метакриловой кислоты**

| β-оксиэфиры | Т. кип., С/мм рт. ст. | $d_4^{20}$ | $n_D^{20}$ | Молекулярная рефракция $MR_D$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | найдена | вычислена |
| I β-оксиизопропилакрилат | | | | | |
| а) нормального замещен. | 91/10 | 1,0221 | 1,4372 | 29,82 | 30,31 |
| б) анормального замещен. | 97/10 | 1,0240 | 1,4383 | 30,08 | " |
| II β-оксиизопропилметакрилат | | | | | |
| а) нормальн. замещен. | 105/10 | 1,0319 | 1,4472 | 33,15 | 34,92 |
| б) анормального замещен. | 108/10 | 1,0331 | 1,4478 | 34,61 | " |

## Литература

1. *Малиновский М. С.* Окиси олефинов и их производные.—Госхимиздат 1966. 2. *Mravek Dusàn, Kalamar Tulius и др.*—Авт. св. ЧССР № 8087—76 опуб. 15. 02 81 г. 3. *Rattay Vladimir, Halamar Tulius* и др.—Авт. св. ЧССР № 7960—76, опуб. 15, 02 81 г. 4. *Бикчурuа Л. Х. Кузнецова В. Р.* и др.—Ж. прикл. химии, 1980, 53 № 12, 2731—2737. 5. *Лавров Н. А.* Технол. высокомолекуляр. соединен.—Л.' 1980 128—136.

*Азербайджанский институт нефти и химии им. Азизбекова*

*Поступило 24. IV, 1984*

**Обами Алфонс, С. И. Меһдијев, П. Ч. Шыхәлизадә, Ј. Ч. Сәфәров**

### α, β-ДОЈМАМЫШ ТУРШУЛАРЫН β-ОКСИИЗОПРОПИЛЛӘШМӘ РЕАКСИЈАСЫНЫН ТӘДГИГИ

Мәгаләдә акрил вә метакрил туршуларынын β-оксиизопропилләшмә реаксијасы тәдгигинин әсас нәтиҹәләри верилмишдир.

Реаксијанын кедишинә әсас амилләрин (температурун, молјар нисбәтин, реаксија мүддәтинин, катализаторун нөвү вә мигдарынын) тә'сири өјрәнилмиш вә нәтиҹәдә көстәрилмишдир ки, реаксијанын мәгсәдли мәһсулу олараг нормал гурулушлу β-оксиизопропилакрилат вә β-оксиизопропилметакрилат 90—94%-ли чыхымла алыныр.

ИГШ анализ үсулу илә β-оксиефирләрин гурулушу өјрәнилмиш вә бә'зи физики-кимјәви көстәричиләри тә'јин едилмишдир.

**Obami Alphonse, S. I. Mekhtiev, P. D. Shikhalizade, Yu. D. Safarov**

### THE STUDY OF β-OXYISOPROPYLATION OF α, β-UNSATURATED ACIDS

The study of β-oxyisopropylation of acrylic and metacrylic acids shows, that the reaction takes place through the formation of β-oxyethers by normal and abnormal substitution.

The main factors influencing the direction of the reaction are the molar relationship of the initial reagents and the chemical nature of the catalyst.

The maximum output of products of normal substitution is about 94% of the initial propylene oxide (P. O.) and is achieved when the molar relationship of the acids to P. O. is 1.5:1 in the presence of tri-ethylamine as catalyst and benzene as the solvent. Excess of P. O. leads to telemerisation. Using IR-spectroscopy the structures of the end products are studied.

It is established that the structures are isomorphic and individually pure.

Some of the physico-chemical properties are also determined.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 541.124

ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

Чл.-корр. АН Азерб. ССР **Н. М. ГУСЕЙНОВ, ДЖ. А. АБАСКУЛИЕВ**

# ПОСТРОЕНИЕ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ КИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

При проведении параметрической идентификации кинетической модели известной структуры, после расчета по результатам стартового эксперимента точечных оценок параметров необходимо определить степень их надежности. Это позволяет обоснованно принять решение относительно целесообразности продолжения экспериментов для уточнения оценок. Дело в том, что точечные оценки обычно определяются по экспериментальной выборке фиксированного объема, выбираемого исследователем интуитивно и поэтому неопределенность полученных оценок может быть значительной [1, 2].

Неопределенность векторной оценки обычно характеризуется совместной доверительной областью — ограниченной областью в параметрическом пространстве, с заданной вероятностью, накрывающую истинные значения параметров. Как известно, построить точную доверительную область для векторной оценки параметров кинетической модели затруднительно, так как для этого необходимо располагать выборочным распределением вероятностей оценок. В настоящей статье предлагается приближенный численный метод, позволющий быстро оценить границы доверительной области.

Пусть кинетическая модель изучаемой химической реакции представима в виде:

$$\frac{dc}{dt} = F(c, x, \kappa), \tag{1}$$

где $\kappa$—вектор неизвестных кинетических параметров размерности $p$ Предположим, что для определения оценок $\kappa$ на лабораторной установке проводился кинетический эксперимент, в процесе которого в точках плана $(x_1, x_2, \ldots, x_N)$ наблюдалась выборка $(\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_N)$. Допустим также, что для каждого выборочного $\gamma_i$ выполняется

$$\gamma_i = c(x_i, \kappa) + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \ldots, N, \tag{2}$$

где $\varepsilon_i$—вектор ошибок $i$-го опыта, $c(x_i, \kappa) = c(0) + \int_0^\tau F(c(t), x_i, \kappa)\, d\tau$.

Приближенные доверительные области точечных оценок $\kappa^+$ параметров, определенных методом максимальнoго правдоподобия из условия

$$S(\kappa^+) = \max_\kappa L(\kappa \mid \gamma) = \min_\kappa \sum_{i=1}^{N} (\gamma_i - c(x_i, \kappa))^2, \tag{3}$$

где $L(\kappa|\gamma)$—функция правдоподобия выборки $\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_N$, могут задаваться следующим образом.

Предполагая, что линеаризованная в окрестности полученных точечных оценок кинетическая модель является удовлетворительным приближением, асимптотическая дисперсионно-ковариационная матрица оценок рассчитывается по соотношению $V=\sigma^2\left(X^T X\right)^{-1}$, где $X$—матрица планирования. При этом, если $V$ не вырождена, то квадратичная форма $\left(\kappa-\kappa^+\right)^T V^{-1}\left(\kappa-\kappa^+\right)$ имеет $\sigma^2\chi^2_p$ распределение, а величина $S\left(\kappa^+\right)$распределена, как $\sigma^2\chi^2_{N-p}$ и

$$\left(\kappa-\kappa^+\right)^T V^{-1}\left(\kappa-\kappa^+\right) \leqslant p(N-p)^{-1} S\left(\kappa^+\right) F_{1-\alpha}(p, N-p) \quad (4)$$

является доверительной областью (соответствующей уровню значимости $\alpha$) для вектора оценок.

Построение контура сечения области (4) плоскостью не вызывает затруднений. Действительно, так как $V$—симметричная матрица, то всегда существует ортогональная матрица U, такая, что $\kappa-\kappa^+=UY$

$$\left(\kappa-\kappa^+\right)^T V^{-1}\left(\kappa-\kappa^+\right)=\sum_{i=1}^{p}\left(\frac{y}{\sqrt{\lambda_i}}\right)^2,$$ где $\lambda_i$—собственные значения $V$, а столбцами матрицы преобразования $U$ являются нормированные собственные векторы $V$.

Таким образом, проблема построения эллипсоидальных сечений доверительных областей (4) сводится к определению собственных значений и собственных векторов дисперсионно-ковариационной матрицы оценок. Причем, столбцы матрицы $U$ соответствуют направлениям осей довертельного эллипсоида, а $\sqrt{\lambda_i}$—длинам полуосей.

В качестве нелинейных доверительных областей могут быть приняты поверхности постоянного значения функции правдоподобия. Так как для апостериорной плотности распределения оценок $P(\kappa|\gamma)$ имеет место

$$P(\kappa|\gamma)=P_0(\kappa) L(\kappa|\gamma) / \int_{-\infty}^{+\infty} P_0(\kappa) L(\kappa|\gamma)\, d\kappa,$$

то при равномерном априорном распределении с точностью до постоянного множителя $P(\kappa|\gamma)$ равна $L(\kappa|\gamma)$ и приближенная $100(1-\alpha)\%$ доверительная область представима в виде

$$S(\kappa)-S\left(\kappa^+\right) \leqslant p(N-p)^{-1} S\left(\kappa^+\right) F_{1-\alpha}(p, N-p).$$

В общем случае область (5) не эллипсоидальна, не симметрична и, как правило, растянута по координатным осям.

Предлагается следующий алгоритм построения контура двумерного сечения (плоскостью $\kappa_i\kappa_j$) области (5). Введем обозначения $x=\kappa_i$, $y=\kappa_j$, $c=S\left(\kappa^+\right)+p(N-p)^{-1}F_{1-\alpha}(p, N-p)$, с учетом которых приходим к необходимости построения кривой на плоскости, заданной уравнением

$$S\left(x, y, \kappa^+\right)=c.$$

Движением по координате $x$ с постоянным шагом $\Delta x=\kappa_i^+/10$ определяется точка пересечения $S(x, y)$ с осью $x$. На каждом шаге проверяется выполнение неравенства $S(x, y)>c$. Если оно выполняется, то искомая точка пересечения $\left(x_0, \kappa_j^+\right)$ уточняется методом поло-



винного деления до выполнения $\left|S\left(x_0, \kappa^+\right)-c\right|<\varepsilon$. Таким образом определяется исходная точка на кривой $S(x, y)=c$. Каждая последующая точка $(x_s, y_s)$ на кривой определяется в результате выполнения следующих этапов. Рассчитываются частные производные

$$DS_x=\left.\frac{\partial S\left(x, y, \kappa^+\right)}{\partial x}\right|_{x_{s-1}, y_{s-1}}; \quad DS_\gamma=\left.\frac{\partial S\left(x, y, \kappa^+\right)}{\partial \gamma}\right|_{x_{s-1}, y_{s-1}};$$

$$B=-\frac{DS_x^T}{DS_\gamma},$$

затем, задавшись шагом $H_\kappa$, по соотношениям

$$x_\kappa=x_{s-1}+H_\kappa/\sqrt{B^2+1}, \quad \gamma_\kappa=\gamma_{s-1}+H_\kappa\cdot B/\sqrt{B^2+1}$$

определяется точка $(x_\kappa, \gamma_\kappa)$, отстоящая на шаг $H_\kappa$ от $(x_{s-1}, y_{s-1})$ по касательной. Производится сравнение $S(x_\kappa, y_\kappa)$ $VC$ и если точка $(x_\kappa, y_\kappa)$ оказалась вне области, то осуществляется движение по антиградиенту с шагом $H_r$ $(n=1)$

$$x_\kappa=x_\kappa+\frac{(-1)^n H_r\left(\dfrac{\partial s\left(x_\kappa, y_\kappa\right)}{\partial x}\right)}{\sqrt{\left(\dfrac{\partial s}{\partial x}\right)^2+\left(\dfrac{\partial s}{\partial y}\right)^2}}, \quad y_\kappa=y_\kappa+\frac{(-1)^n H_r\left(\dfrac{\partial s\left(x_\kappa, y_\kappa\right)}{\partial y}\right)}{\sqrt{\left(\dfrac{\partial s}{\partial x}\right)^2+\left(\dfrac{\partial s}{\partial y}\right)^2}}$$

Если же точка $(x_\kappa, y_\kappa)$ находится внутри области, то поиск точки на кривой осуществляется на градиентном направлении $(n=0)$. При выполнении условия $\left|S(x_\kappa, y_\kappa)-c\right|<\varepsilon$ принимается $x_s=x_\kappa$, $x_s=y_\kappa$.

Таким образом последовательно рассчитываются координаты точек кривой $S\left(x, y, \kappa^+\right)=c$. На каждом этапе вычислений определяется расстояние между $(x_0, y_0)$ и $(x_s, y_s)$. После того, как это расстояние становится меньше заданного числа, работа алгоритма завершается.

Отметим, что величины шагов $H_\kappa$ изменяются в процессе расчетов в соответствии с локальной кривизной контура сечения.

С использованием предложенного алгоритма на ЭВМ были рассчитаны контуры двумерных сечений совместной доверительной области оценок параметров кинетической модели реакции каталитического гидрирования этилена, имеющей вид

$$R=\frac{\kappa\cdot\kappa_{p1}\kappa_{p2}\left[C_2H_4\right]\left[H_2\right]}{\left(1+\kappa_{p1}^{0,5}\left[H_2\right]^{0,5}+\kappa_{p2}\left[C_2H_4\right]+\kappa_{p3}^{-1}\left[C_2H_6\right]\right)^3},$$

где $\kappa$—константа скорости реакции, $\kappa=\kappa_0\cdot\exp(-E/RT)$, $\kappa_{pi}$—константа адсорбционного равновесия, $\kappa_{pi}=\exp(-\Delta s_i/R)\exp(\Delta H_i/RT)$; $\kappa_0$—предэкспоненциальный множитель, $E$—энергия активации, кал/моль, $\Delta S$—энтропия адсорбции, э. е., $\Delta E$—энтальпия адсорбции, кал/моль.

Предполагалось, что ошибки эксперимента нормально распределены с нулевым средним и известной дисперсией.

На основе двенадцати экспериментов, проведенных в безградиентном реакторе, с использованием метода максимального правдоподобия были определены численные значения кинетических констант, представленные в таблице, и рассчитаны сечения доверительных областей (рис. 1, 2).

Как следует из рисунков, контуры сечения доверительных областей имеют вид длинных, вытянутых вдоль координатных осей «оврагов». Наклон контуров к осям свидетельствует о линейной связи между оцен-

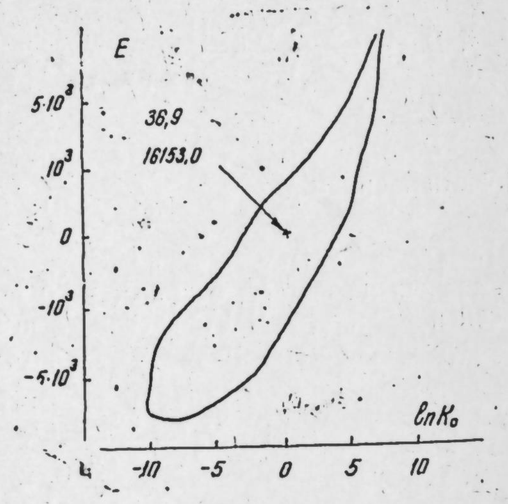



*Рис. 1.* Сечение совместной доверительной области оценок параметров ($\ln K_0 E$) кинетической модели

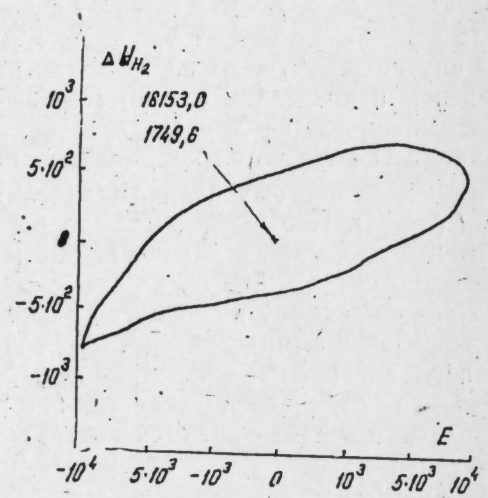



*Рис. 2.* Сечение совместной доверительной области оценок параметров ($E\Delta H_{H_2}$) кинетической модели

**Параметры кинетической модели**

| Параметр | Оценка | Дисперсия | Параметр | Оценка | Дисперсия |
|---|---|---|---|---|---|
| $\ln K_0$ | 36,9 | 17 | $\Delta H_{C_2H_4}$ | 7087,0 | $10^5$ |
| $E$ | 16153,0 | $3\cdot10^5$ | $-\Delta S_{C_2H_4}$ | 20,8 | 16 |
| $\Delta H_{H_2}$ | 1749,6 | $2\cdot10^4$ | $\Delta H_{C_2H_6}$ | 2478,0 | $5\cdot10^4$ |
| $-\Delta S_{H_2}$ | 10,8 | 5 | $-\Delta S_{C_2H_6}$ | 13,2 | 5 |

ками. Таким образом, оценки рассчитаны с низкой точностью и характеризуются высокими коэффициентами корреляции. Это означает, что необходима дополнительная экспериметальная информация для уточнения численных значений оценок.



## Выводы

1. Разработан численный метод построения контуров сечения доверительных областей оценок параметров нелинейных кинетических моделей.

2. Анализ характеристик построенных контуров сечений доверительных областей позволяет обоснованно судить о надежности, значимости оценок, о необходимости проведения дополнительных уточняющих экспериментов.

### Литература


1. *Бард И.* Нелинейное оценивание параметров. — М.: Статистика, 1979.
2. *Налимов В. В.* — Зав. лаб., 1978, 44, № 3, 325 — 331.



*Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт по подготовке к транспортировке природного газа*



*Поступило 19. V. 1983.*



**Н. М. Һүсејнов, Ч. Ә. Абасгулијев**


## КИНЕТИК МОДЕЛ ПАРАМЕТРЛӘРИНИН ГИЈМӘТЛӘРИНИН Е'ТИБАРЛЫЛЫГ ОБЛАСТЫНЫН ГУРУЛМАСЫ


Мәгаләдә кинетик модел параметрләринин гијмәтләринин дәгиглијини тә'јин етмәк мәсәләләри нәзәрдән кечирилир. Гијмәтләрин е'тибарлылыг сәрһәдләрини тез гијмәтләндирмәјә имкан верән әдәди јахынлашма методу тәклиф едилир. Метод е'тибарлылыг областынын икиөлчүлү кәсикләринин координатларынын һесабланмасындан ибарәтдир.

Тәклиф едилмиш методдан истифадә етмәклә етиленин һидрокенләшмә реаксијасынын кинетик моделинин параметрләринин гијмәтләри үчүн гејри-хәтти е'тибарлылыг областынын кәсији гурулмушдур.



**N. M. Guseinov, Dj. A. Abaskuliyev**


## CONSTRUCTION OF CONFIDENCE AREAS OF THE KINETIC MODELS PARAMETERS ESTIMATES


The definition problems of parameter estimate precision of the kinetic models were discussed. Approximate numerical method providing quick estimation of confidence bounds was suggested. The method is based on the directed calculation of two-dimensional section coordinates of the confidence area. Non-linear confidence area sections are built for parametrically considerable non-linear ethylene hydrogenation kinetic model using the method suggested.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 622.691.4.01:582.517.6

ГИДРОДИНАМИКА

К. Э. РУСТАМОВ

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ С ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ В ТРУБКАХ

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР М. Т. Абасовым)*

Проведено экспериментальное исследование влияния полимерных добавок на гидравлические особенности движения газожидкостных смесей в трубах. Экспериментальные исследования проведены в Стразклайдском университете (г. Глазго, Великобритания). Описание экспериментальной установки и методика проведения эксперимента приведены в [1]. Диаметр экспериментальной трубы — 0,216 м.

В качестве полимерной добавки был взят полиакриламид (ПАА), который вводился в объеме, равном 0,05 — 1,0% от объема перекачиваемой жидкости.

Основными методами измерений, позволяющими (прямо или косвенно) оценить эффект воздействия полимерных добавок, являлись:

1) измерение перепада давления;
2) измерение пульсаций давления;
3) снятие амплитудно-частотной характеристики пульсации давления.
4) визуальное наблюдение за формой течения.

Для оценки влияния полимерных добавок на динамику потока проводились эксперименты при соблюдении идентичных условий как для случая с полимерными добавками, так и без них.

На рис. 1 и 2 приведены результаты эксперимента, позволяющие произвести оценку влияния полимерных добавок на потери давления

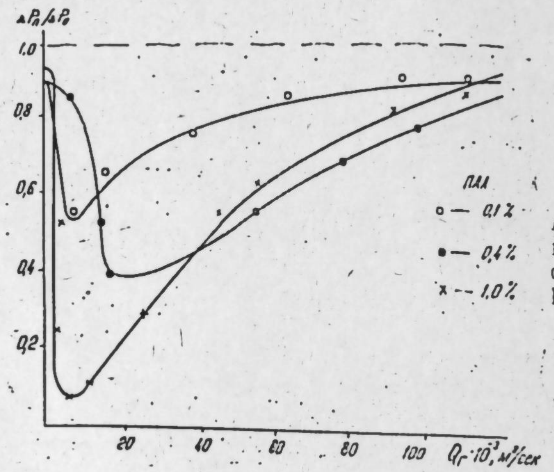



*Рис. 1.* Зависимость потерь давления при движении газожидкостных смесей с полимерными добавками (ПАА, 1%) в горизонтальной трубе от расхода фаз



на единицу длины. Как видно из приведенных графиков при слабых растворах полимеров (0,05%) потери давления в трубе не отличаются от таковых для случая движения газожидкостных потоков без полимерных добавок. С увеличением концентрации ПАА наблюдается достаточно заметное снижение потерь давления. При концентрации ПАА более 1,0% наблюдалось сильное пенообразование, и проведение эксперимента не представлялось возможным.

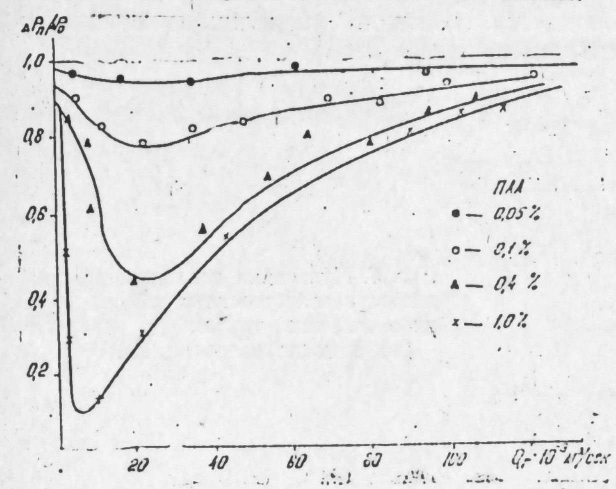



*Рис. 2.* Зависимость потерь давления при движении газожидкостных смесей с полимерными добавками в трубе от концентрации вводимого полимера

По мере увеличения расхода газа при данном расходе жидкостной фазы наблюдается резкое снижение потерь давления, а затем его постепенное возрастание. При достаточно больших расходах газа эффект воздействия полимерных добавок практически не наблюдается. При определенных значениях расхода газовой фазы наблюдается минимальное значение потери давления. В [2] аналогичная картина наблюдается при движении газожидкостного потока с полимерной добавкой (карболол 947) при снарядном режиме в трубе диаметром 25,4 мм. Однако здесь кривая изменения сопротивления по мере увеличения расхода газовой фазы носит более плавный характер, при этом минимальное значение достигается при больших значениях расхода газовой фазы. Если в настоящей работе снижение сопротивления достигало 90—92%, то в работе [2] — 25—30%. Некоторые сомнения вызывают результаты работы [2]. Если ранее было установлено [3—6], что при аналогичных условиях при движении однофазной жидкости с полимерными добавками снижение сопротивления достигает 75—95%, то здесь, при этих же условиях, не более 25%.

В настоящее время не представляется возможным объяснить поведение кривой изменения снижения сопротивления в зависимости от расхода газовой фазы (рис. 1). В работе [2] предпринята попытка объяснить механизм повышения снижения сопротивления после определенной величины расхода газовой фазы химической или механической деградацией молекул полимера.

Предпринята попытка необоснованного переноса идей снижения эффекта полимерных добавок в однафазном потоке при продолжительных и больших напряжениях. Если данная гипотеза справедлива, то в рамках этой гипотезы не представляется возможным объяснить возрастание эффекта снижения сопротивления на начальном участке кривой.

В процессе эксперимента замечено, что резкое снижение сопротивления сопровождается довольно заметным изменением структурной формы течения. При значениях $\beta=0{,}45 \div 0{,}7$ до введения полимерных добавок в газожидкостных потоках наблюдалось переменное прохождение газовых пробок или накопление и резкое выбрасывание жидкостной фазы в поток, что сопровождается значительными низкочастотными макропульсациями, тогда как в потоке с полимерными добавками при этих же условиях наблюдается гладкое раздельное течение и отсутствие низкочастотных макропульсаций (рис. 3).

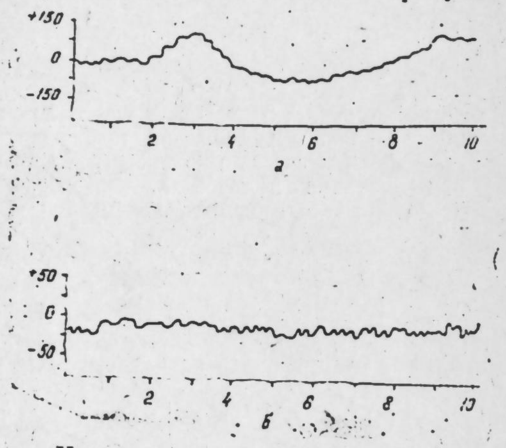


*Рис. 3.* Пульсация давления при движении газожидкостных смесей в горизонтальных трубах до введения *(а)* и после введения ПАА *(б)*

Как видно из приведенных графиков, введение полимерных добавок в газожидкостный поток сопровождается гашением низкочастотных макропульсаций, в области же высоких частот, как следует из анализа амплитудно-частотной характеристики пульсации давления, качественных изменений не наблюдается, за исключением незначительного снижения амплитуды колебания.

Из изложенного следует, что снижение сопротивления в газожидкостном потоке при введении полимерных добавок наблюдается там, где имеет место низкочастотная макропульсация до введения полимера, создающая дополнительное сопротивление в потоке.

Таким образом, введение полимерных добавок в газожидкостный поток позволяет значительно снизить гидравлическое сопротивление, пульсацию давления и регулировать структурой потока.

### Литеретур

1. *Rustamov K., Rooney D., Grattan E.* Void fractions and pressure drops in large diameter horizontal tubes.—European Two-Phase Flow Group Meeting. Stockholm, 1978. 2. *Otten L., Fayed A.* Pressure Drop and Drag Reduction in Two-Phase Non-Newtonian Slug Flow. The Canadian of Chem. Eng., vol. 54, Feb./Apr. 1976, p. 111—114.

*Азербайджанский инженерно-строительный институт*

*Поступило 26. XII 1983*

К. Ә. Рүстәмов

## ПОЛИМЕР ӘЛАВӘ ОЛУНМУШ ГАЗ-МАЈЕ ГАРЫШЫҒЫНЫН БОРУДАҺӘРӘКӘТИНИН ТӘДГИГИ

Мәгаләдә полимер әлавә олунмуш газ-маје гарышығынын һидравлики мүгавимәт вә тәзјиг дөјүнтүсүнүн дәјишмәсинә тә'сириндән бәһс олунур. Тәчрүбәләр мүәллиф



тәрәфиндән Стразклајд университетиндә (Глазго, Инкилтәрә) апарылмышдыр. Полимер маддә олараг, полиакриламиддән (ПАА) истифадә едилмишдир.

Тәдгигат нәтичәсиндә мүәјјән едилмишдир ки, газ-маје гарышығына полимерин (ПАА) әлавә едилмәсилә, онларын бөјүк диаметрли боруларда һәрәкәти заманы һидравлики мүгавимәт вә тәзјиг дөјүнтүсү азалыр.

K. E. Rustamov

## GAS-LIQUID MIXTURE FLOW WITH POLYMER ADDITIVES IN PIPES

Experimentally drag reduction, decrease of pressure pulsation and change of flow pattern uncer gas-liquid mixture flow with polymer additive in pipe are shown.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

ЯЗЫКОЗНАНИЕ

Н. М. ЭФЕНДИЕВА

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ТЕРМИНОСИСТЕМЫ

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР А. А. Эфендизаде)*

Пытаясь решить вопрос о том, существует ли различие в синтаксических моделях терминосистемы и нетерминосистемы, мы ставили перед собой такие задачи как выявление объективных факторов, позволяющих выделить терминосистему в виде особого подъязыка, а также определение роли синтаксиса в выделении терминосистемы с точки зрения составляющих единиц и особенностей ее функционирования в речи.

Анализируя в этом плане особенности синтаксической сочетаемости подлежащего и сказуемого, нами были рассмотрены отношения единичности и общего, причины и следствия, формы и содержания, сущности и явления, части и целого, случайности и необходимости [1], возможности и действительности в применении к терминосистеме.

Говоря о природе синтаксической сочетаемости единиц терминосистемы, мы сделали попытку проанализировать предложения с биномной и мономной структурой.

В этой связи нами были рассмотрены явления языковой конъюнкции и дизъюнкции и выделены бессказуемые типы предложений с терминологической и нетерминологической наполняемостью, а также бесподлежащие типы предложений опять-таки с терминологической и нетерминологической лексикой в их составе.

В свою очередь, двусоставные предложения подразделялись при их рассмотрении по наличию терминологической и нетерминологической наполняемости [2].

Сама терминологическая лексика изучалась в работе в свете функциональной терминологической категории, которая позволила систематизировать терминологические словосочетания, показав тем самым, что последнее создается ею как единство адъективности и субстантивности или вербиальности и адвербиальности.

Сопоставляя два типа словосочетаний («адъективность — субстантивность», с одной стороны, и «вербиальность — адвербиальность», с другой стороны), на основе анализа большого фактического материала, мы пришли к выводу, что количественно «адъективность — субстантивность» превосходит «вербиальность — адвербиальность».

Кроме того, сопоставление словосочетаний терминологического наполнения с аналогичными словосочетаниями нетерминологического характера показало специфику терминосистемы и в таком составляющем компоненте предложения как словосочетание [3]. Будучи своеобразной микроединицей синтаксиса, терминологическое словосочетание не допускает подстановку синонимичных определений и служащих лимитаторов дескриптивного свойства и носит застывший фиксированный характер.



Переходя к рассмотрению третьего уровня языковых отношений, связанного с речевой коммуникацией, мы обнаружили ряд закономерностей, касающихся использования терминосистемы в грамматике речи.

Грамматика речи, основываясь на двух противоречивых и как бы взаимоисключающих тенденциях — к сжатию, с одной стороны, и к расширению — с другой стороны, специфически проявляет себя в условиях терминосистемы. Рассматривая эту сторону речевых отношений, мы специально остановились на речевой природе повтора, что позволило определить следующее [4]: в научной литературе терминологическая лексика является ведущим средством формирования повтора. Анализ грамматики речи в ее отношении к терминологическим единицам привел нас к необходимости остановиться и на их темо-ремотической природе при их использовании в роли повтора. Такой подход позволил сформулировать некоторые общие положения, к числу которых относятся, в частности, следующие:

1. В плане понятийном повтор однозначно соотносится с определенным целостным отрезком действительности.

2. В плане смысловом повтор обладает информативной однозначностью.

3. В плане структурном повтор основывается на расширении.

Итак, расширение в условиях речи предполагает определенного рода речевую конъюнкцию, которая связывает отдельные мономные и биномные предложения в более крупные отрезки речевой цепи, известные под названием сверхфазовых единств [5].

Исследование путей речевого сжатия терминосистемы привело нас к необходимости изучения вопроса речевой дизъюнкции, во-первых, с точки зрения возможности отнесения терминосистемы, к теме или реме высказывания, во-вторых, в плане анализа роли парцелляции в процессе оформления коммуникативных связей, и, наконец, в-третьих, в смысле выявления роли парцелляции в эллиптических структурах.

Анализ большого фактического материала дает все основания заключить, что парцеллированная конструкция, включая в себе два взаимосвязанных предложения, распадается не просто на тему и рему, а предполагает наличие логического центра с правосторонней периферией и левосторонней функциональной смысловой перспективой. Логический центр и второе эллиптическое предложение (представляющее собой собственно функциональную смысловую перспективу), объединяясь, дают новую рему, которая и является ремой всей парцеллированной структуры [6].

Рассматривая терминологическую лексику в рамках сверхфразовых единств, мы получили возможность определить, во-первых, тот факт, что именно термин является ведущей смысловой единицей третьей сферической плоскости; во-вторых, нами было установлено, что ведущей структурной единицей данной плоскости выступает сверхфразовое единство терминологического характера. В самом сверхфразовом единстве нами была обнаружена определенная синтаксическая субординация, которая строится на неравнозначном логическом разделении тематической и рематической частей (так как первая — многоаспектная, а вторая — одноаспектная). Далее, она основывается на смысловой монолитности этих темо-ремотических частей, их структурной членимости в ряде других закономерностей, которые выделяют терминосистему в особый подъязык.

Наконец, особое внимание в исследовании посвящено проблеме центростремительных отношений в терминосистеме, которые, объединяя все смысловые части в единое целое, представляют их как особые составные компоненты, неравнозначные по своим потенциальным возможностям, что сказывается на различном темпе речи при восприятии и обдумывании информации, основанной на использовании терминологических единиц.

### Литература

1. *Ахманова О. Т., Глушко М. М.*—М.: Наука, 1974, —178 с. 2. *Елок М. Я.* Коммуникативные типы предложения в аспекте актуального членения. —ИЯШ. 1976, № 5, с. 14—23. 3. *Кошевая И. Г.*—Проблемы языкознания и теории английского языва, вып. 1. М.: МГПИ им. Ленина, 1976, с. 132—138. 4. *Матедиус С.* Основная функция порядка слов в чешском языке. В кн.: Пражский лингвистический кружок.—М.: Прогресс, 1967, с. 246—245. 5. *Хомский Н.* Аспекты теории синтаксиса. Пер. с англ./Под ред. и с предисл. В. А. Звягинцева.—М.: Изд-во МГУ, 1972. —58 с. 6. *Шанский И. М.* Очерки по русскому словообразованию.—М.: МГУ, 1967,—310 с. 7. *Benes E.* On two aspects of functional Sentence Perspective.—Travaux Linguistique de Prague. Prague, 1958, v. 3, p. 267—274. 8. *Braynt M.* A Functional English Grammar.—Boston: Heath, 1945, p. 326. 9. *Hough J. N.* Scientific Terminology.—N. Y.: Rinehart, 1953, p. 231. 10. *Kirkwood H. W.* Aspects of Word Order and Its Communicative Function in English and German.—Journal of Linguistics, 1969, vol. 5, N. 1, p. 85—107.

*Азербайджанский инженерно-строительный институт*

*Поступило 2. II. 1984*

**Н. М. Әфәндијев**

### ТЕРМИН СИСТЕМИНИН ФУНКСИОНАЛ АСПЕКТИ

Мәгаләдә термин сөзләрдән гурулмуш чүмлә илә үмуми сөзләрдән гурулмуш чүмләнин синтаксис моделиндәки фәргләр нәзәрдән кечирилир.

Мүбтәда вә хәбәрин синтаксис бирләшмәсиндә мөвчуд олан материал тәһлилиндә тәк вә үмуми, мәгсәд вә уjғунлуг, форма вә мәзмун, маһиjјәт вә һадисә, һиссә вә бүтөв, тәсадүф вә мәчбуриjјәт, мүмкүнлүк вә һәгигәт кими әламәтләр термин системи дахилиндә өjрәнилир.

**N. M. Efendieva**

### FUNCTIONAL ASPECT OF THE TERMINOLOGICAL SYSTEM

The material under study allows to assert that the structure of the sentence appears to be indifferent to its lexical filling. It means that the syntactical model, remaining in principle unchanged, is subjected, in a full measure, to the filling by both terminological and non-terminological vocabulary. The character of the latter doesn't influence the structural frame of the sentence. But it is the terminological vocabulary that helps the internal oppositional unity of the subject and predicate to be more clearly expressed.

---

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985



**АЗИЗОВА ФАРИДА**

# АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ СОВЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА В АРАБСКИХ ПЕРЕВОДАХ

*(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР М. З. Джафаровым)*

50-е годы XX в. — начало нового этапа в истории азербайджанско-арабских литературных взаимосвязей. Этот период характерен свержением реакционных режимов и установлением национальной демократии в ряде арабских стран. Перед азербайджанскими и арабскими писателями открываются широкие перспективы сотрудничества и взаимообмена художественным опытом. О возросшем интересе к азербайджанской литературе свидетельствует поток переводов ее на арабский язык. Одним из первых переводов является роман Мехти Гусейна «Апшерон», изданный в 1954 г. в Бейруте издательством «Фикра-аль-Джадид» («Новая мысль»).

Вызывает интерес тот факт, что имя переводчика романа азербайджанского писателя не указано. Это можно объяснить возросшей в стране напряженностью накануне американской интервенции. Чем же вызван интерес именно к этому произведению? Возможно, самой темой. Арабский ученый Маджед Салем аля-Эддин отмечает:«В эти годы арабские писатели, изображая борьбу с несправедливостью, не только критикуют недостатки, но и вносят вклад в поиски выхода из отсталости, что дает право говорить об элементах социалистического реализма в современной арабской литературе. Это время, когда в арабскую литературу перенесены абсолютно новые черты в результате формирования рабочего класса, а также роста числа писателей, вышедших из города и способных понять роль рабочего класса как главной движущей силы истории». [1]

Таким образом, вместе с формированием пролетариата арабские писатели-реалисты стали изображать в своих произведениях образ рабочего — положительного героя, и потому вполне понятно, что перевод романа М. Гусейна «Апшерон» в этот период далеко не случаен.

К 50-м годам относятся также и переводы ливанского поэта Николы Тавиля поэзии Мамед Рагима. В 60-е годы в арабских странах появляются переводчики, получившие образование в СССР, сотрудничающие с издательством «Прогресс». Близкое знакомство с советской жизнью повлияло на уровень переводов.

Первыми арабскими переводчиками, которые работали непосредственно с оригиналом, являются иракские туркманы Синан Саид, Абдуль Латыф Бендероглы. Синан Саид известен как переводчик про-

---

[1] *Маджед Салем Аля-Эддин.* Советская литература и творчество современных писателей Сирии. Автореф. дис. ... канд. филол. наук. — М., 1979, с. 6.

зы С. Рагимова, Анара, поэзии С. Вургуна, С. Рустама, М. Рагима, Н. Рафибейли, М. Дильбази, Б. Вагабзаде, О. Сарывели, Н. Хазри и многих других советских поэтов. Он — автор переводов нескольких десятков стихов Р. Рзы, его цикла «Краски», отрывков из различных поэм. Бендероглы же привлекла острая полемичность, философская направленность поэзии С. Вургуна, задушевность, напевность, лиричность его стихов.

60-е годы, как известно, оставили тяжелый след в судьбах арабского народа. Речь идет о том большом уроне, который нанесла израильская агрессия. Перед арабской литературой встает ряд проблем и задач. Ранее арабские писатели никогда не писали о войне и им пришлось приспосабливаться к сложной ситуации. Вначале литература на военную тему ограничивалась рассказами, которые публиковались в периодической печати и были более доступны читательским массам, нежели другие жанры. В последующем военные события стали изображаться в повестях и романах. Писатели добиваются революционного обновления романа, освобождаясь от его традиционного понимания. Неоценимую помощь в этом им оказал богатый опыт литературы страны Советов.

Арабским писателям было чему поучиться у своих советских коллег. В этот период как нельзя кстати оказался перевод Васфи Бунни повести И. Касумова и Г. Сеидбейли «На дальних берегах». Думается, что в данном случае перед нами тот факт, когда перевод мог бы служить не только обмену духовными ценностями, а прежде всего обогащению арабской национальной литературы.

Свой вклад в укрепление и развитие азербайджанско-арабских литературных связей внес ливанский поэт Мишель Сулейман. В 1977 г. в Бейруте вышел сборник стихов Наби Хазри. В его переводе имеется также и поэзия С. Вургуна.

В 1979 г. на арабский язык была переведена поэма «Ленин» Р. Рзы. Имя Ленина дорого всем прогрессивным арабским читателям, и поэма была горячо принята. Переводчик — суданский поэт Джейли Абдуррахман.

В 80-е годы внимание привлекает новая азербайджанская проза: произведения Максуда и Рустама Ибрагимбековых в переводе иракца Хайри ад-Дамина, роман «Снежный перевал» Ф. Керим-заде — переводчик Юсиф Абуд, произведения Ч. Гусейнова в переводе египетского ученого Мохаммеда Аббаса.

Рассматриваемый нами период (50 — 80 гг.) — время переоценки ценностей в арабской литературе, формирования и торжества нового направления, так называемого «нового реализма», несущего в себе, по мнению многих ученых, в том числе и арабских, черты социалистического реализма. Принцип народности в арабской литературе приобрел форму «реалистической приверженности». Под этим термином писатели имели ввиду сознательное выражение прогрессивных идей, ясность и определенность целей и идеалов, оценку положительных и отрицательных явлений. С этих позиций их не могло не волновать правдивое изображение советского общества, образы героев, представителей народа, художественные приемы, стили авторов советской литературы.

Победа социалистической революции и распространение идей социализма в мировом масштабе, несомненно, повлияли на развитие арабской литературы. На нее оказали воздействие такие писатели-реалисты как Горький, Шолохов[1]. Что же касается вопроса о роли азербайджанской литературы в развитии и обогащении литератур Арабского Востока, то он пока только ставится нами. Вспомним, что к моменту перевода произведений «Апшерон» М. Гусейна, «На дальних берегах» И. Касумова, Г. Сеидбейли, рабочая и военная темы были еще новы в арабской литературе и переводы оказались как нельзя кстати. Мы не ошибемся, если станем утверждать, что поэма «Ленин» Расула Рзы, произведения С. Вургуна, С. Рагимова и многих других азербайджанских советских авторов могли быть использованы арабскими писателями в качестве опыта социалистического реализма в их творчестве.



За последние годы в оценках арабских литературоведов творчества азербайджанских писателей появилось нечто новое, т. е. подход к их произведениям с этетической точки зрения. Иракский журналист, ученый, переводчик Синан Саид подчеркивает: «Важнейшими чертами социалистического реализма-метода, которому следует литература народов Советского Союза, являются человечность, новая гуманность, склонная к добру, свободе личности, счастью, дружеские симпатии к угнетенным народам и непримиримость к каким бы то ни было проявлениям угнетения, несправедливости и произволу»[2].

Итак на современном этапе значение художественного перевода особенно возросло.

Переводы, — как отмечает египетский режиссер и критик Камаль Ид, — знакомили массы с советской литературой, соответствуя новому революционному подъему в арабских странах»[3]. Они в немалой степени способствовали тому, что в развитии двух литератур-арабской и советской возникают элементы сходства как в течениях, направлениях, так и в стилях авторов. И распространение азербайджанской советской литературы в арабских странах, безусловно, вносит свой вклад в этот процесс.

*Институт литературы АН АзССР* *Поступило 5. XI. 1984*

Ф. Ә. Әзизова

**АЗӘРБАЈЧАН СОВЕТ ӘДӘБИЈЈАТЫ ӘРӘБ ТӘРЧҮМӘЛӘРИНДӘ**

Мүасир дөврдә әдәби әлагәләрин әсасы олмуш бәдии тәрчүмә бу күн јени дүнјанын сосиал инкишаф мәрһәләсиндә бөјүк әһәмијјәт кәсб едир. Гарышлыглы зәнкинләшмә, психоложи-естетик сәрһәдләрин јахынлашмасы просесиндә бу сәнәтин өзүнәмәхсус хүсусијјәтләри вардыр. Әрәб-Азәрбајчан әдәби әлагәләринин өјрәнилмәсиндә дә бәдии тәрчүмәләрин ролу бөјүкдүр. Мәгаләдә мүасир Азәрбајчан совет әдәбијјатынын әрәб дилиндә олан тәрчүмәләринин бир сыра нәзәри вә тәчрүби проблемләриндән бәһс едилир.

F. A. Azizova

**THE SOVIET AZERBAIJAN LITERATURE IN THE ARABIC TRANSLATIONS**

At the contemporary stage the translation is of great significance. The translation promotes the development of Arabic and Soviet literature both in the author's styles and in the tendencies. Dissemination of Azerbaijan Soviet literature in the Arabic countries makes the valuable contribution to this process.

[1] *Эль-Гамари Макарем Ахмед. М.* Горький и арабские писатели. Автореф. дисс. канд. филол. наук. — М.: 1973; *Аль-Наджари Мухаммед Абдо. М.* Горький и современная арабская литература. Автореф. дисс... канд. филол. наук. — М.: 1980.

[2] *Саид.* Предисловие к кн.: Азербайджанские песни арабским странам, Багдад, 1971, с. 5 (на арабск. яз.).

[3] *Камаль Ид.* Египетский театр между расцветом и упадком. Жур. «Есар аль-араби» — Париж, № 14, с. 17 (на арабск. яз.).

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLI ЧИЛД № 8 1985

УДК 23.94.015

ЕТНОГРАФИЈА

Г. Ч. ЧАВАДОВ

# АЗӘРБАЈЧАНДА ЈАҒЫШ ВӘ КҮНӘШ ЧАҒЫРМА МӘРАСИМЛӘРИНӘ ДАИР

*(Азәрбајчан ССР ЕА академики Ә. С. Сумбатзадә тәгдим етмишдир.)*

Гәдим суварма әкинчилијн өлкәси олан вә бечәрилән торпаг саһәләринин үчдә ики һиссәсиндән чоху суварма јолу илә мәһсул верән [1] Азәрбајчанда әсрләр боју су әлдә етмәк үчүн архлар чәкилмиш, бәндләр гурулмуш вә кәһризләр газылмышдыр. Лакин бу васитәләр әһалинин суја олан еһтијачыны һеч дә һәмишә там өдәјә билмәмишдир. Мәһз бу зәрури һәјати тәләбат үзүндән гураглыг вахтларда су (јағыш) чағырма вә јағмурлу дөврләрдә күнәш чағырмаг, беләликлә дә бол мәһсул әлдә етмәк мәгсәдилә макија характерли овсун вә мәрасимләр ичра едилмишдир.

Инсанларын ирадәсиндән асылы олмајан тәбиәт һадисәләринә макија характерли мәрасимләрлә тә'сир етмәк ән'әнәләри ибтидаи-ичма динләринин галыглары олуб, халгымызын мә'нәви мәдәнијјәтинин мәһз бу саһәсинин тәдгиги нөгтеји-нәзәриндән гијмәтли мәнбә сајылыр.

Гејд едәк ки, бир сыра Гафгаз халгларында бу мәрасимләрин ичрасы һаггында хејли мә'лумат олса да [2], Азәрбајчанын тарихи етнографијасында һәмин мәсәлә индијәдәк һәртәрәфли изаһыны тапмамыш, онлары доғурмуш ичтимаи инкишафын мәрһәләси зәмининдә маһијјәти ајдынлашдырылмамышдыр. Мәгаләдә биз һәмин мәсәләнин тарихи-етнографик тәһлили үзәриндә дајаначағыг.

Һаггында бәһс едәчәјимиз мәсәләләр — әкинчилијин бир тәсәррүфат саһәси кими инсанларын һәјатындакы тарихи ролунун дәјишмәси, гураглығын төрәтдији фәлакәтләрин тәкрар олунмасы илә ачлығын баш вермәси, инсанларын тәбиәт һадисәләри гаршысында ачизлијинин мөвчуд олдуғу бир инкишаф мәрһәләсиндә һәмин тәбиәт һадисәләринә тә'сир етмәк сә'јләри илә әлагәдар олараг јаранмышдыр.

Макија характерли бу овсунлары гысача нәзәрдән кечирәк.

Азәрбајчанын Ширван, Губа-Хачмаз, Муған зоналарында јағыш чағырмаг үчүн Баба дағындан кәтирилмиш дашы мүгәддәс сајылан булағын көзүнә гојуб, онун јағыш адына басдырылдығы гејд едиләрди. Бу сеһрли дашла Әрдәбилдә јағышын чағырылмасы һаггында XII әср әрәб мүәллифи Әбу Һәмид әл-Әндәлуси әл-Гәрнати [3] вә XVI әсрин түрк сәјјаһы Өвлија Чәләби [4] мә'лумат вермишләр. Даш васитәсилә јағыш чағырмаг овсуну та гәдимдән бир сыра түрк халглары үчүн характерик олуб, Маһмуд Қашғаријә көрә бу, түркләр арасында танынмыш бир шејдир [5]. Доғрудан да, јакутларда бу даш «сата», тувинләрдә «јада таш» кими мә'лум олуб, јағыш јағдырмаг үчүн кениш истифадә едилмишдир [6].

Азәрбајчанда гураглыг заманы кәндин ики нәфәр дул гадыны



хыша гошуб, чај јатағыны шумлама јолу илә дә јағышын чағырылмасы мә'лумдур. Хыша гошулмуш гадынлар јалварыш тәрзиндә маһнылар охујур, бир-биринин үстүнә су чиләјир вә јағыш диләјирдиләр. Ә. Әләкбәрова көрә бу адәт Лачын вә Кәлбәчәр рајонлары әһалиси арасында әсримизин 30-чу илләринәдәк мөвчуд олмушдур [7]. Тәдгигатчыларын фикринчә, бу мәрасимин гадынлар тәрәфиндән ичра едилмәси гадынын аналыг, артым, мәһсулдарлыг рәмзи мә'наларыны кәсб едиб, онун матриархат дөврүнүн мәһсулу олмасыны көстәрир [8]. Бу мәрасимин ејнилә бир сыра Гафгаз халглары арасында јајылдығы Г. Ф. Чурсин тәрәфиндән гејдә алынмышдыр [9].

Ингилаба гәдәрки Азәрбајчанда јағыш чағырманын ән кениш јајылмыш бир формасы да ајры-ајры зоналарда «году-году», «һоду-һоду», «кудул-кудул», «доду-доду» кими мүхтәлифадлы, лакин ејнимәзмунлу мәрасимдир. Гадын сурәтиндә дүзәлдилиб, бәзәдилән «году» («һоду», «доду») гыз ушағына вериләрәк, кәнддә евбәев кәздириләрди.

Году-году хош кәлди,<br>
Ардынча јағыш кәлди*

— дејә охујан гызлар һәм јағыш арзулајар вә һәм дә ев саһибләриндән пај топлардылар. Ев саһибләри исә «году» үзәринә су чиләјәрәк, бир нөв году кәздирәнләрә шәрик олдугларыны билдирәрдиләр. Дәрбәнд азәрбајчанлылары арасында «гудул-гудул» ады илә мә'лум олуб, онун јағыш аллаһы шәрәфинә ичра едилдијини XIX әсрдә Н. Дубровин мә'лумат верир [10].

Бу мәрасимин ичрасынын гадынларла бағлылығы онун гәдимлијини, башга сөзлә, әкинчилијин һәлә гадын мәшғулијјәти олмасы дөврүнүн мәһсулу олдуғуну тәсдиг едир.

Азәрбајчанда јағыш чағырманын «мүсәлла» ады илә мә'лум олан даһа кениш бир формасынын јајылдығы мүәјјәнләшдирилмишдир. Кәндин бөјүклү-кичикли, гадынлы-ушаглы бүтүн чамааты күнүн гызмар вахты ачыг бир јерә топлашыр. Көрпә ушаглар аналарындан ајрылыр. Бөјүкләр гурбан кәсир, макик һәрәкәтләр ичра едир, күн алтында галан ушаглар исә ағлашмаға башлајырды. Аналар да тәдричән бу ағлашмаја гарышыр, бөјүклү-кичикли һамы ағлајараг, тәбиәтдән су, јағыш диләјирди. Куја илаһи гүввәнин онлара јазығы кәләчәк вә көз јашлары мүгабилиндә әһалијә јағыш кәләчәкдир.

Бу мәрасимин азәрбајчанлылар арасында да әрәб сөзү олан мүсәлла истилаһы илә мә'лум олмасы, һабелә онун ичрасында ислам дини елементләринин үстүнлүк тәшкил етмәси, һәмин ајинин Азәрбајчанда ислам docininin јајылмасындан сонра ичра едилмәјә башландығыны демәјә әсас верир.

Һәсән бәј Зәрдаби халгын мүсәллаја чыхмасына ачыјараг јазырды ки, јағыш истәјән кәсләр әлиндәки балтаны јерә гојуб, мешәләрә һејфи кәлмәлидир. Чүнки «имтаһан илә билибләр ки, мешә олан јерә јағыш зијадә јағыр» [11].

Дејиләнләрдән әлавә Азәрбајчанда јағыш чағырма үчүн сејиди суја басма (Товуз-Газах), аһыл вә дул гадына улағын башыны јудуртма (Кәлбәчәр, Губадлы), накам өлмүш адамын башдашындан бир парча сындырыб чаја атма кими макик үсуллардан да истифадә едилмишдир.

Узун мүддәт давам едән јағыш, долу да тәсәррүфата хејир вермәзди. Одур ки, буна гаршы ел-оба јенә макик характерли тәдбирләр

*Бу чүр маһнылар чох вә мүхтәлифдир.

јаратмыш, ону нчра етмәклә јағыш вә долунун кәсилмәсинә, әксинә күнәшин чыхмасына чәһд көстәрмишләр. Демәли, гәдим азәрбајчанлылар арасында һәм дә күнәши чағырма мәрасими јаранмышдыр.

Азәрбајчанлылар арасында гураглыгдан сонра давам едән јағмурлу һаваларла әлагәдар олараг дејилир:

Јағмыр, јағмыр гурудур,
Јағанда да чүрүдүр!

Күнәшин чағырылмасы үчүн әкинчиләримиз јенә году бәзәмиш, ону евбәев кәздирәрәк, исладылмыш годунун гурумасы үчүн гызылы күнәшин чыхмасыны арзуламышлар:

Году-годуну көрдүнмү?
Годуја салам вердинми?
Году бурдан кечәндә,
Гырмызы күн көрдүнмү?
Ај доланыб батмаға,
Јухум кәлиб јатмаға,
Јағыш јағыб исладыб,
Күн кәрәк гурутмаға.

Бу саралан тахылдыр,
Бу гаралан нахырдыр,
Кәлинләр пај верәндә,
Гарылар она пахылдыр.
Годуја гајмаг кәрәк,
Габлара јајмаг кәрәк,
Году күн чыхармаса
Көзләрин ојмаг кәрәк!

Демәли, бу мәрасим јетишмиш, саралмыш әкинләрин мәһсулуну топламагдан өтрү вачиб олан күнәшин чыхмасы үчүн ичра едилир вә буна көрә дә году да мәһз күнәш рәмзи олан гырмызы рәнкдә бәзәдилирди. Ј. В. Чәмәнзәминли јазыр ки, году әслиндә күнәшин бәнзәјиши, онун тимсалы шәклиндә дүзәлдиләрди. Чүнки гәдим инсан күман едирди ки, гадын күнәши тәмсил едир [12]. М. Адилова көрә «һудаһудај-гуда-гуда//году» гәдим түрк халгларында көј аллаһынын (күнәшин) ады иди. Мүәллиф даһа сонра јазыр ки, гәдим атәшпәрәстләр күнәшә, онун тәмсилчиси годуја инам кәтирирдиләр [13]. Демәли, гәдим инсанлар году кәздирәркән мәһз бу инама әсасланмышлар.

Азәрбајчанлылар арасында күнәш чағырма мәрасиминдән бәһс едән А. Иоакимов јазыр ки, мән 1899-чу илин ијул ајынын 13-дә бир нечә нәфәр ушағын гадын шәклиндә тәсвир едилиб, кәһрәба илә бәзәдилмиш кукла ојнатдығынын шаһиди олдум. Бунун нә олдуғуну ушаглардан сорушдум. Бу «году»дур, — дејә оғлан чаваб верди. Бәс, году нә демәкдир? суалына ушаг «году» күнәш вә ајдыр, — дејә чаваб верди [14]. Мүәллиф году кәздирәнләрин дилиндән јаздығы маһныны вә онун русча тәрчүмәсини вермишдир. Һәмин маһнынын Азәрбајчан мәтни ашағыдакы кимидир:

Годи, годи, һај годи, годи!
Годија салам вердинми?
Годи бурдан өтәндә,
Гырмызы дон көрдүнми?
Гара тојуг ганады,
Ким вурду, ким санады?

Көјчәлијә кетмишдим,
Ит балдырымы долады,
Јағ верин јағламаға,
Ип верин бағламаға,
Верәнин оғлу олсун,
Вермәјәнин бир кор гызы олсун
О да чатласын өлсүн! [15]

Мүәллиф даһа сонра гејд едир ки, мән һәмин варианты сонралар Бөјүк Веди мәктәбинин мүәллими Вәзирова көстәрдим. О, һәмин мәтнә ашағыдакылары әлавә етди:

Доди, Додини көрдүнүзмү?
Додуја салам вердинизми?

Доди кедәндән бәри,
Һеч күн үзү көрдүнүзмү? [16]

Күнәш чағырма илә бағлы бу мәрасим даһа сонралар Газах рајонунун Шыхлы кәндиндә Ч. Бағыров тәрәфиндән гејдә алынмышдыр. Мүәллиф һәмин маһнынын Азәрбајчан варианты илә јанашы, рус дилиндә тәрчүмәсини дә вермишдир [17].



Году-году мәрасиминин мүхтәлиф зоналарда гејдә алынмасына вә бурада охунан маһныларын кичик мәһәлли хүсусијјәт дашымасына бахмајараг, о өз мәзмуну е'тибарилә Азәрбајчанын һәр јериндә ејнилик тәшкил етмишдир.

Етнографик материаллар Азәрбајчанда күнәш чағырманын даһа бир сыра садә формаларынын јајылдығыны көстәрир. Белә ки, бир сыра зоналарда узун мүддәт давам едән јағышын вә долунун кәсилмәси, әксинә күнәшин чыхмасы үчүн сују сача төкүб «говурар», кәсәр аләтләри ағзы јухары гојар, ананын илкинә једди долу көтүрдүб дишләдәр вә бу јолла өз истәкләринә наил олачагларына инанардылар. Бүтүн бунлар гәдим инсанын ибтидаи тәфәккүрүнүн мәһсулу кими мејдана чыхмыш, узун әсрләр мәишәтдә јашадылмыш вә галыг шәклиндә бизә кәлиб чатмышдыр.

Халгымызын јағыш вә күнәш чағырмагла бағлы овсунларынын тәһлили, онларын мәншәчә ибтидаи ичма дөврүнүн мәһсулу олмагла инсанын аилә мәишәти (тој, никаһ, доғум вә с.) вә тәсәррүфатынын (овчулуг, әкинчилик, малдарлыг) демәк олар бүтүн саһәләриндә о заман кениш јер тутмуш макија характерли ајин вә овсунлар системинин бизә галыг һалында кәлиб чатмыш јалныз чүзи һиссәси олдуғуну көстәрир.

Нәтичә е'тибарилә дејәк ки, јағыш вә күнәшин чағырылмасы илә әлагәдар азәрбајчанлылар арасында ичра едилән магик мәрасимләр әһалинин тәсәррүфат мәишәтиндә су вә күнәшин башлыча рол ојнамасы илә бағлы олмушдур.

### Әдәбијјат


1. *Талыбзадә И. А.* XIX әср вә XX әсрин әввәлләриндә Азәрбајчанда суварма вә судан истифадә.—Бакы, 1980. с.9
2. *Чурсин Г. Ф.* Магия в борьбе с засухой у Кавказских народов. — Бюлл. Кавказского историко-археологического института в Тифлисе. 1930, № 6; *Трофимова А. Г.* Из истории религиозных обрядов вызывания дождя и солнца у народов южного Дагестана.
3. *Вәлиханлы Н. М.* IX—XII әср әрәб чоғрафијашүнас-сәјјаһлары Азәрбајчан һаггында.—Бакы, 1974, с.159—160.
4. *Эвлия Челеби.* Книга путешествия, вып. 3. Земли Закавказья и сопредельных областей Малой Азии и Ирана. — М., 1983, с. 143.
5. *Mahmud Kašgari.* Divani Lügat-it-türk. Ceviren Besim Atalay, 3 c. — Ankara, 1941, s. 3
6. *Алексеев Н. А.* Ранние формы религии тюркоязычных народов Сибири. — Новосибирск, 1980, с. 40, 55. 7. *Алекперов А. К.* К вопросу об изучении культуры Кюрдов. Исследование по археологии и этнографии Азербайджана. — Бакы 1960, с. 164—165.
8. *Зеленин Д. К.* Истолкование пережиточных религиозных обрядов. — Сов. этнография, 1934, № 5б с. 8. 9. *Чурсин Г. Ф.* Көстәрилән мәгаләси, с.16—17.
10. *Дубровин Н.* История войны и владычество русских на Кавказе, кн. II. Закавказье. — СПб., 1872, с. 351—352.
11. *Зәрдаби Һ. Б.* Сечилмиш әсәрләри.—Бакы, 1960. с.135.
12. *Абдуллајев Б.* Ј. В. Чәмәнзәминли вә фолклор.—Бакы, 1981. с.44.
13. *Адилов М. И.* Нијә белә дејирик.—Бакы, 1982. с.135.
14. *Ибакимов Н. О.* Из этнографического дневника. Вызывание солнца у мусульман гор. Елизаветполья во время продолжительных дождей. — СМОМПК, вып. IX. — Тифлис, 1980, с. 128.
15. Јенә орада.
16. Јенә орада.
17. *Багиров Дж.* Детские игры и народные обряды в с. Шихлы Казахского района Азербайджана. — Сов. этнография, 1936, № 4—5, с. 191.


*Тарих институту* *Алынмышдыр 14. XI 1983*

950—6

Г. Д. Джавадов.

## ОБРЯДЫ ВЫЗЫВАНИЯ ДОЖДЯ И СОЛНЦА В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

В статье изучаются обряды вызывания дождя и солнца, широко распространенные в быту населения Азербайджана.

Для вызывания дождя в период засухи во многих этнографических зонах использовали специальный камень (Баба дашы или Гара даш), который клали в священный родник.

Для этой цели также практиковалось вспахивание русла пересохшей речки хышем, запряженным вдовой.

Широко был распространен обряд вызывания дождя при помощи куклы (году, доду), причем ее одевали в зеленую одежду. Девушки водили куклу по дворам, пели специальные песенки, вызывающие дождь, а люди со двора выливали на куклу воду и им преподносили подарки.

Истоки названных обрядов носили магический характер и уходят в домусульманскую эпоху.

В послеисламский период в Азербайджане для вызывания дождя известен обряд «муселла».

В статье также изучаются обряды вызывания солнца. Для этой цели куклу (году) одевали в красный цвет. Для вызывания солнца практиковались еще некоторые магические обряды.

Магические обряды вызывания дождя и солнца — продукт исторического прошлого. До нас они дошли в форме пережитков.

G. Dj. Djavadov

## THE RITES OF CALLING RAIN AND THE SUN IN AZERBAIJAN

In the article the rites of calling rain and the sun, which was widely spread in the life of Azerbaijan population, are studied.

During the drought in many ethnographical zones for calling rain the people used special stone (Baza dashi or Gara dash) which they put across sacred spring. For this purpose they also used ploughing of river-bed of dry river by harnessing widow.

The rite of calling rain by the help of doll (godu, dodu) having a green dress was widely spread. The girls took the doll to yards, sang special songs which called rain. The people from the yards poured out the water on the doll and brought presents for it.

The sources of these rites carried magic character, going on till Mussulman epoch. In Azerbaijan after Islam period the rite of calling rain was known as „musella".

In the article the rite of calling the sun is also studied. For this purpose the people dressed the doll (godu) in red, which designated the symbol of the sun. Besides, they used other magic rites.

The rites of calling rain and the sun were a production of historical past. They reached us as a survival form.

---

# МҮНДӘРИЧАТ

Нефт-кимја синтези



Кимја кинетикасы



Һидродинамика



Дилчилик



Әдəби əлагəлəр



Етнографија



## СОДЕРЖАНИЕ

Математика



Кибернетика



Механика



Физика полупроводников



Физика твердого тела



Физика атмосферы



Биофизика



Органическая химия



Физическая химия

Сдано в набор 19. 07. 85. Подписано к печати 10. 11. 85. ФГ 00812. Формат бумаги $70\times100^1/_{16}$. Бумага типографская № 1. Гарнитура шрифта литературная. Печать высокая. Усл. печ. лист 7,15. Усл. кр.-отт. 7,15. Уч.-изд. лист 6,03. Тираж 580. Заказ 950. Цена 70 коп.

Издательство „Элм".
370143 Баку-143, проспект Нариманова, 31, Академгородок, Главное здание
Типография „Красный Восток" Государственного комитета Азербайджанской ССР по делам издательств полиграфии и книжной торговли. Баку, ул. Ази Асланова, 80

9. Текст статьи печатается на белой бумаге через два интервала на одной стороне листа стандартного размера, с полями с левой стороны (не более 28 сторк на одной странице по 58—60 знаков в строке). В тексте нельзя делать рукописные вставки и вклейки.

Статьи, напечатанные на портативной машинке, не принимаются.

10. Текст статьи должен быть изложен кратко, тщательно отредактирован и подписан авторами в печать. В математических статьях желательно избегать доказательств теорем, лемм и т. п. При использовании в тексте сокращенных названий (кроме общепринятых) необходимо давать их расшифровку.

11. Математические и химические формулы и символы в тексте должны быть описаны четко. Следует избегать громоздких обозначений, применяя, например, дробные показатели степени вместо радикалов, а также exp. Занумерованные формулы обязательно включаются в красную строку, номер формулы ставится у правого края страницы. Желательно нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки. Подстрочные и надстрочные индексы и степени следует отмечать карандашом, дугами сверху и снизу:

$$R^{n},\ r_{n}$$

Греческие буквы нужно обводить (в кружок) красным карандашом. Буквы готического шрифта и рукописные в рукописях не использовать, векторные величины — подчеркивать черным, буквы латинского рукописного шрифта следует отметить на полях (например, H рукоп.).

Во избежание ошибок следует четко обозначать прописные (заглавные) и строчные буквы латинского алфавита, имеющие сходные начертания (Cc; Kк; Pp; Oo; Ss; Uu; Vv; и т. д.), буквы I(i) и J(j) букву I и римскую единицу I, а также арабскую цифру I и римскую I′, (вертикальная черта), I и штрих в индексах, I (латинское эль) и e. Прописные буквы подчеркивают карандашом двумя черточками снизу (C), а строчные — сверху (c.).

Следует избегать знаков типа ~ (волна), ⊙, ⊕, ⊗, □ |•| ◊ , ∨ ∧

(крышки) над и под буквами, а также знаков:

h ✖ $\underline{¢}$, ∯∯, ∯, ¢

Латинские названия вписываются на машинке.

Слова «теорема», «лемма», «следствие», «определение», «замечание» и т. п. следует подчеркивать штриховой чертой, а текст утверждений типа теорем—волнистой чертой (исключая математические символы).

При выборе единиц измерения рекомендуется придерживаться международной системы единиц СИ.

12. При описании методики исследования следует ограничиваться оригинальной ее частью. При элементном анализе приводить только усредненные данные.

13. Необходимо тщательно проверить написание местных географических названий.

14. Цитированная литература проводится общим списком на отдельной странице ссылки в тексте даются порядковым номером в круглых скобках над строкой (например,[1]). Список литературы оформляется следующим образом:

для книг: инициалы и фамилии авторов, полное название книги, место и год издания;

для журнальных статей: инициалы и фамилия авторов, название журнала, номер тома, номер выпуска, страница и год издания.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

15. Все статьи должны иметь резюме на английском языке кроме того, статьи написанные на русском и азербайджанском языках должны иметь резюме на азербайджанском и на русском соответственно.

Публикация статьи в «Докладах» не препятствует напечатанию расширенного ее варианта в другом периодическом издании.

70 гэп. коп.

Индекс 76355